

Rec'd PCT/PTO 07 DEC 2004

REC'D 15 AUG 2003

WIPO PCT

10/516821
PCT/JP03/08245

27.06.03

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2002年 6月28日

出 願 番 号
Application Number: 特願2002-190531
[ST. 10/C]: [JP2002-190531]

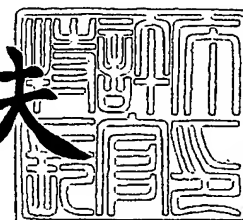
出 願 人
Applicant(s): 日本電気株式会社

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 7月31日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特2003-3060922

【書類名】 特許願

【整理番号】 33509935

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】 G02F 1/01

【発明の名称】 熱光学位相シフト及びその製造方法

【請求項の数】 24

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

【氏名】 高橋 森生

【特許出願人】

【識別番号】 000004237

【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】

【識別番号】 100090158

【弁理士】

【氏名又は名称】 藤巻 正憲

【電話番号】 03-3433-4221

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 009782

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9715181

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 熱光学位相シフタ及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、この基板上に設けられたクラッド層と、このクラッド層内に直線又は曲線状に設けられこのクラッド層と共に光導波路を構成するコアと、このコアの直上域又は直下域を含む領域に設けられ発熱することにより前記光導波路の光の位相を変化させるヒータと、を有し、前記クラッド層における前記ヒータの少なくとも直下域を挟む領域に溝が形成されており、前記クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に前記溝に連結された $4\mu\text{m}$ 以上の隙間が形成されていることを特徴とする熱光学位相シフタ。

【請求項 2】 前記隙間の一部に設けられ、前記クラッド層における前記溝間の部分を前記基板に対して支持する支柱部を有することを特徴とする請求項 1 に記載の熱光学位相シフタ。

【請求項 3】 基板と、この基板上の全面に設けられ前記基板を形成する材料よりもエッチング速度が大きい犠牲材料により形成された犠牲層と、この犠牲層上に設けられ前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により形成されたクラッド層と、このクラッド層内に直線又は曲線状に設けられこのクラッド層と共に光導波路を構成するコアと、このコアの直上域又は直下域を含む領域に設けられ発熱することにより前記光導波路の光の位相を変化させるヒータと、を有し、前記犠牲層及び前記クラッド層における前記ヒータの少なくとも直下域を挟む領域に溝が形成されており、前記溝間の領域において前記犠牲層がエッチングにより除去され前記クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に前記溝に連結された隙間が形成されていることを特徴とする熱光学位相シフタ。

【請求項 4】 前記隙間の一部に設けられ、前記クラッド層における前記溝間の部分を前記基板に対して支持する支柱部を有することを特徴とする請求項 3 に記載の熱光学位相シフタ。

【請求項 5】 前記支柱部が前記犠牲材料により形成されていることを特徴とする請求項 4 に記載の熱光学位相シフタ。

【請求項 6】 前記支柱部が前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材

料により形成されていることを特徴とする請求項 4 に記載の熱光学位相シフト。

【請求項 7】 前記犠牲材料の熱伝導率が、前記基板を形成する材料の熱伝導率よりも小さいことを特徴とする請求項 3 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の熱光学位相シフト。

【請求項 8】 前記犠牲材料がリンを含むガラス材料であり、前記クラッド層を形成する材料がボロン及びリンを含むガラス材料であることを特徴とする請求項 3 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の熱光学位相シフト。

【請求項 9】 前記隙間が $4\ \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項 3 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の熱光学位相シフト。

【請求項 10】 前記支柱部が、前記コアが延びる方向の全長にわたって連続的に形成されていることを特徴とする請求項 2 及び 4 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の熱光学位相シフト。

【請求項 11】 前記支柱部が、前記コアが延びる方向の一部に形成されていることを特徴とする請求項 2 及び 4 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の熱光学位相シフト。

【請求項 12】 前記溝を張架するように設けられ、前記クラッド層における前記溝間の部分を、この部分と共に前記溝を挟む部分に対して支持する支持梁を有することを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の熱光学位相シフト。

【請求項 13】 前記溝における前記コアが延びる方向に平行な側面のうち前記コアに近い側の側面は、前記コアが延びる方向における端部において、前記方向における端縁に近づくにつれて前記コアから離れるように湾曲していることを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の熱光学位相シフト。

【請求項 14】 前記ヒータが前記クラッド層の表面に設けられていることを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の熱光学位相シフト。

【請求項 15】 前記ヒータが前記クラッド層中に設けられていることを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の熱光学位相シフト。

【請求項 16】 前記コア及び前記クラッド層が石英を含むガラス材料により形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 15 のいずれか 1 項に記載の熱

光学位相シフト。

【請求項 17】 前記コアを形成するガラス材料がゲルマニウムを含むことを特徴とする請求項 16 に記載の熱光学位相シフト。

【請求項 18】 前記基板が石英を含むガラス材料又はシリコンにより形成されていることを特徴とする請求項 1 及至 17 のいずれか 1 項に記載の熱光学位相シフト。

【請求項 19】 基板上の全面にこの基板を形成する材料よりもエッチング速度が大きい犠牲材料により犠牲層を形成する工程と、この犠牲層上に前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により下側クラッド層を形成する工程と、この下側クラッド層上に直線又は曲線状に延びるコアを形成する工程と、このコアを覆うように前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により上側クラッド層を形成する工程と、この上側クラッド層上における前記コアの直上域を含む領域に発熱することにより前記下側クラッド層、コア及び上側クラッド層からなる光導波路の光の位相を変化させるヒータを形成する工程と、前記上側クラッド層及び下側クラッド層における前記ヒータの直下域を挟む領域に前記犠牲層又は基板まで到達する溝を形成する工程と、この溝を介して前記下側クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に位置する前記犠牲層をエッチングして除去し、前記下側クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に前記溝に連結された隙間を形成する工程と、を有することを特徴とする熱光学位相シフトの製造方法。

【請求項 20】 基板上の全面にこの基板を形成する材料よりもエッチング速度が大きい犠牲材料により犠牲層を形成する工程と、この犠牲層上に前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により第 1 の下側クラッド層を形成する工程と、この第 1 の下側クラッド層上にヒータを形成する工程と、このヒータ上に前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により第 2 の下側クラッド層を形成する工程と、この第 2 の下側クラッド層上における前記ヒータの直上域を含む領域に直線又は曲線状に延びるコアを形成する工程と、このコアを覆うように前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により上側クラッド層を形成する工程と、前記上側クラッド層及び前記第 2 の下側クラッド層における前記ヒ

ータの直上域並びに前記第 1 の下側クラッド層における前記ヒータの直下域を挟む領域に前記犠牲層又は基板まで到達する溝を形成する工程と、この溝を介して前記第 1 の下側クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に位置する前記犠牲層をエッチングして除去し、前記第 1 の下側クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に前記溝に連結された隙間を形成する工程と、前記上側クラッド層及び第 2 の下側クラッド層に前記ヒータに接続するビアを形成する工程と、を有することを特徴とする熱光学位相シフトの製造方法。

【請求項 2 1】 前記犠牲層の膜厚を $4\ \mu\text{m}$ 以上とすることを特徴とする請求項 1 9 又は 2 0 に記載の熱光学位相シフトの製造方法。

【請求項 2 2】 基板上にこの基板を形成する材料よりもエッチング速度が大きい犠牲材料により膜厚が $4\ \mu\text{m}$ 以上の犠牲層を選択的に形成する工程と、この犠牲層上に前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により下側クラッド層を形成する工程と、この下側クラッド層上における前記犠牲層の上方域を含む領域に直線又は曲線状に延びるコアを形成する工程と、このコアを覆うように前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により上側クラッド層を形成する工程と、この上側クラッド層上における前記コアの直上域を含む領域に発熱することにより前記下側クラッド層、コア及び上側クラッド層からなる光導波路の光の位相を変化させるヒータを形成する工程と、前記上側クラッド層及び下側クラッド層における前記ヒータの直下域を挟む領域に前記犠牲層又は基板まで到達する溝を形成する工程と、この溝を介して前記犠牲層をエッチングして除去し、前記下側クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に前記溝に連結された $4\ \mu\text{m}$ 以上の隙間を形成する工程と、を有することを特徴とする熱光学位相シフトの製造方法。

【請求項 2 3】 基板上にこの基板を形成する材料よりもエッチング速度が大きい犠牲材料により膜厚が $4\ \mu\text{m}$ 以上の犠牲層を選択的に形成する工程と、この犠牲層上に前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により第 1 の下側クラッド層を形成する工程と、この第 1 の下側クラッド層上における前記犠牲層の直上域を含む領域にヒータを形成する工程と、このヒータ上に前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により第 2 の下側クラッド層を形成する工程と

、この第2の下側クラッド層上における前記ヒータの直上域を含む領域に直線又は曲線状に延びるコアを形成する工程と、このコアを覆うように前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により上側クラッド層を形成する工程と、この上側クラッド層及び第2の下側クラッド層における前記ヒータの直上域並びに前記第1の下側クラッド層における前記ヒータの直下域を挟む領域に前記犠牲層又は基板まで到達する溝を形成する工程と、この溝を介して前記犠牲層をエッチングして除去し、前記第1の下側クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に前記溝に連結された4 μ m以上の隙間を形成する工程と、前記上側クラッド層及び第2の下側クラッド層に前記ヒータに接続するビアを形成する工程と、を有することを特徴とする熱光学位相シフタの製造方法。

【請求項24】 前記犠牲層をエッチングする工程において、前記コアと前記基板との間に位置する犠牲層の一部を残留させることにより、前記下側クラッド層における前記溝間の部分を前記基板に対して支持する支柱部を形成することを特徴とする請求項19乃至23のいずれか1項に記載の熱光学位相シフタの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は消費電力の低減を図った熱光学位相シフタ及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

光通信分野における多チャンネル化は、波長分割多重（WDM：Wavelength Division Multiplexing）通信方式の出現により急速に促進されている。それに伴い、チャンネル毎の機能的な制御、例えば各チャンネルのパワーを一定に揃えたり、スイッチングを行ったりといったことを実現しようとする、チャンネル数に応じた数の光素子が必要となってくる。

【0003】

このため、近時、光スイッチ等に適用でき、高密度集積が可能な小型光回路部

品の必要性が高まっている。従来、既に単体の光スイッチが実現されており、これらの光スイッチを多数使用した複数の入出力ポートを持つマトリックススイッチも実用化されている。光スイッチを実現する技術としては、入力ポート及び出力ポートを機械的に動かして接続する方法（例えば、特開平9-5653号公報）、可動式のミラーを回転して所定の角度に傾けることにより入力ポートと出力ポートとを接続する方法（例えば、特開2001-255474号公報及び電子情報通信学会総合大会予稿C-3-8（2002年）p. 140）、液晶を使用する方法（例えば、特開昭62-187826号公報）、交差接続された導波路の交差点で泡を発生させる等の手段により光の反射を制御し入力・出力ポート間の接続を変更する方法等、多岐に渡る技術が提案されている。

【0004】

その中でも、熱光学位相シフタを利用した平面光波回路（PLC: Plan Light-wave Circuit）型デバイスは、その作製プロセスに半導体回路の作製技術を利用できることから、作製の容易さ及び集積性が極めて優れており、高機能化・大規模化にも有利であるという特長をもつ。

【0005】

通常、熱光学位相シフタは次のようにして実現される。先ず、基板上にクラッド層及びコアからなる光導波路を作製する。そして、この光導波路上に金属薄膜等を成膜して光導波路に沿った細線形状に加工し、通電できるようにする。この薄膜に外部から電力を投入すると、薄膜の電気抵抗により熱が発生して、光導波路のヒータとして動作する。このヒータにおいて発生した熱は、光導波路のクラッド層を伝わりコアに達する。その結果、光導波路におけるヒータで加熱された部分の屈折率が増加し、屈折率変化量と導波路長とに対応して実効導波路長が長くなり、出力端における光の位相がシフトする。ヒータに投入する電力を調節することにより、位相のシフト量を任意に制御することができる。なお、光導波路が石英ガラスにより形成されている場合、石英ガラスの屈折率温度係数（ dn/dT ）は約 1×10^{-5} （ $1/^\circ\text{C}$ ）である。

【0006】

そして、1本の光導波路を入力端において2本に分岐して、その少なくとも一

方を熱光学位相シフタに接続し、出力端において2本に分岐した光導波路を再結合させることにより、光スイッチを実現することができる。例えば、2本の分岐された光導波路を導波する光の位相を相互に半波長分シフトさせることにより、出力端における出力をゼロとすることができる。また、前記位相をシフトさせなければ、入力されたままの光を出力することができる。これにより、出力のオン・オフを制御することができる。

【0007】

しかしながら、多チャンネル化に対応するために、1つの光回路内に複数の熱光学位相シフタを配置する場合には、1つの熱光学位相シフタが消費する電力が大きいと、光回路全体の消費電力が極めて大きくなってしまう。これまでに実用化された熱光学位相シフタにおいては、例えば光通信に通常使用される波長が1550nmの光を導波させる場合、位相を半波長分変化させるために必要な電力は、1チャンネル当たり400mW程度であった。従って、例えば40チャンネルの光通信回路を制御するために、各チャンネルに、前述の熱光学位相シフタを利用したスイッチを設けたとすると、最大で $40 \times 400 \text{ mW} = 16000 \text{ mW} = 16 \text{ W}$ もの電力を必要とする。なお、研究レベルでは1チャンネル当たりの消費電力が40mW程度である熱光学位相シフタも報告されているが、熱光学部品に要求される高集積化に対しては、これでもまだ消費電力が大き過ぎる。

【0008】

熱光学位相シフタの消費電力を低減するために、光導波路を形成する材料を屈折率の温度係数が高い材料へ変更する方法、例えばポリマーを導波路に使用する方法が提案されている（例えば特許第2848144号、Y. Hida et al. IEEE Photon. Technol. Lett. Vol. 5 (1993) pp. 782-784、電子情報通信学会総合大会予稿C-3-10 (2002年) p. 142等）。

【0009】

また、熱光学位相シフタの構造を、ヒータにおいて発生した熱が外部へ逃げないように、光導波路間に溝を設けた構造とする技術も提案されている（例えば、電子情報通信学会総合大会予稿C-3-61 (2001年) p. 226、電子情

報通信学会総合大会予稿C-3-64 (2001年) p. 229、Q. Lai et al. IEEE Photon. Technol. Lett. Vol. 10 (1998) pp. 681-683)。これらの文献には、溝を設けることにより、少ない投入電力で所望の温度上昇量を得ることができると記載されている。

【0010】

更に、ヒータが発した熱が基板に逃げることを防止するために、コアの下方に位置するクラッド層を厚くする方法もある。更にまた、シリコン基板上に形成された熱光学位相シフトにおいて、ヒータが発した熱が基板に逃げることを防止するために、光導波路の下方に位置する基板表面を除去し、光導波路をブリッジ構造にする技術も開示されている（例えば、特開平1-158413号公報、特開平5-34525号公報、特開2001-222034号公報）。更にまた、論文「A. Sugita et al. Trans. IEICE, Vol. E73 (1990) pp. 105-109」には、光導波路の下方に位置するシリコン基板の一部を残し、光導波路をシリコン基板に対して支持する支柱とする技術も開示されている。

【0011】

更にまた、特許第3152182号公報には、石英基板上に選択的にシリコン薄膜を形成し、このシリコン薄膜を覆うようにアンダークラッドを形成し、このアンダークラッド上におけるシリコン薄膜の上方に相当する位置にコアを形成し、このコアを覆うようにオーバークラッドを形成して光導波路を形成し、この光導波路上にヒータを形成し、光導波路を挟む位置に前記シリコン薄膜まで到達する溝を形成し、この溝を介して前記シリコン薄膜を除去する技術が開示されている。これにより、光導波路と石英基板との間に隙間を形成することができ、熱光学位相シフトの消費電力を低減することができる。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、前述の従来技術には、以下に示すような問題点がある。光導波路をポリマーにより形成する場合、ポリマーは吸湿性が高く、熱光学位相シフ

タの製造中及び使用中に水分を吸収することにより膜質が劣化してしまい、石英ガラスにより形成される光導波路と比較して、光の伝搬損失が大きくなるという問題がある。また、ポリマーにより形成された光導波路上に、この光導波路を保護するパッシベーション膜を形成することも困難である。このため、ポリマーにより形成された光導波路は、石英ガラスにより形成された光導波路と比較して、安定性が低く、信頼性が劣る。また、石英ガラスにより形成された光導波路の一部にポリマーを埋め込む方法も考えられるが、作製工程の複雑化、低い再現性、石英ガラスとポリマーとの界面において生じる伝搬損失の増大といった問題がある。

【0013】

また、光導波路間に溝を設ける方法においては、ある光導波路の直上に配置されたヒータから発した熱が、隣接する他の光導波路に伝達されることは防止できるものの、ヒータの熱が基板に逃げることは防止できず、消費電力を低減する効果は小さい。

【0014】

更に、コアの下方のクラッド層を厚くする方法においては、成膜中にクラッド層内に生じる応力によりクラックが発生するという問題点がある。また、この応力により、基板に反りが発生するという問題点もある。更に、この応力により、光導波路の光学特性が劣化する。更にまた、成膜時間が長くなるため、大量生産には向かない。このため、クラッド層を厚く形成することは、プロセス上困難である。

【0015】

更にまた、光導波路の下方に位置するシリコン基板の表面を除去する技術においては、シリコン基板をエッチングするために、エッチング液としてフッ硝酸等の強酸が必要となる。シリコン基板をエッチングする際には、ヒータをレジストで覆い保護するが、このレジストがフッ硝酸に耐えられず、エッチングによりヒータが損傷を受ける。このように、シリコン基板をエッチングする方法には、プロセス上の問題点がある。また、シリコン基板の一部を除去することにより、熱光学位相シフトの強度を確保するための基板自体を脆弱化させていることになり

、結果として素子の機械的強度の低下を招くという問題点がある。また、シリコン基板をエッチングすることにより、クラッド層への応力の印加状態が変化して不安定な状態となり、光導波路を構成するクラッド層自体の機械的強度及び光学特性が低下するという問題点がある。更にまた、論文「A. Sugita et al. Trans. IEICE Vol. E73 (1990) pp. 105-109」に記載されているように、シリコン基板の一部を支柱として残すと、シリコンは熱伝導性が高いため、光導波路の断熱効果が著しく損なわれ、当初の低消費電力化の目的を果たせない。

【0016】

更にまた、特許第3152182号公報に開示されている技術、即ち、基板上に選択的にシリコン薄膜を設け、後の工程でこのシリコン薄膜をエッチングすることにより基板と光導波路との間に隙間を形成する技術においても、シリコン薄膜のエッチングが困難であるという問題点がある。また、選択的に形成されたシリコン薄膜を覆うようにアンダークラッドを形成するため、このアンダークラッドの上面が平坦にならず、このアンダークラッド上にコア、オーバークラッド、ヒータの各層を形成することが困難であるという問題点がある。

【0017】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたものであって、作製が容易で、光学特性並びに強度、安定性及び信頼性が良好で、消費電力が小さい熱光学位相シフタ及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る熱光学位相シフタは、基板と、この基板上に設けられたクラッド層と、このクラッド層内に直線又は曲線状に設けられこのクラッド層と共に光導波路を構成するコアと、このコアの直上域又は直下域を含む領域に設けられ発熱することにより前記光導波路の光の位相を変化させるヒータと、を有し、前記クラッド層における前記ヒータの少なくとも直下域を挟む領域に溝が形成されており、前記クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に前記溝に連結された4 μ m以上の隙間が形成されていることを特徴とする。

【0019】

本発明においては、ヒータにより光導波路を加熱することにより、この光導波路を導波する光の位相を変化させることができる。このとき、クラッド層における前記ヒータの少なくとも直下域を挟む領域に溝を形成し、前記クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に前記溝に連結された4 μ m以上の隙間を形成することにより、ヒータで発生した熱がクラッド層を介して基板に直接伝達することを抑制でき、光導波路と基板との間の断熱性が向上する。これにより、少ない加熱量で効率良く光導波路の温度を上げることができる。また、クラッド層における溝間の部分が基板から分離されることで光導波路にかかる応力が低減され、光学特性の劣化を防ぐことができる。更に、溝により光導波路が周辺のクラッド層から分離されることにより、光導波路に印加される応力を著しく低減することができ、応力の印加による光学特性の劣化を抑制することができる。この結果、熱光学位相シフタの光学特性が良好となり、且つ、消費電力が大幅に低減される。この結果、多数の熱光学位相シフタを大規模に集積することが可能となる。更にまた、ポリマーを使用していないため、安定性及び信頼性が優れ、製造が容易である。更にまた、フッ硝酸等の強酸によりシリコンをエッチングするプロセスがないため、製造が容易である。

【0020】

本発明に係る他の熱光学位相シフタは、基板と、この基板上の全面に設けられ前記基板を形成する材料よりもエッチング速度が大きい犠牲材料により形成された犠牲層と、この犠牲層上に設けられ前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により形成されたクラッド層と、このクラッド層内に直線又は曲線状に設けられこのクラッド層と共に光導波路を構成するコアと、このコアの直上域又は直下域を含む領域に設けられ発熱することにより前記光導波路の光の位相を変化させるヒータと、を有し、前記犠牲層及び前記クラッド層における前記ヒータの少なくとも直下域を挟む領域に溝が形成されており、前記溝間の領域において前記犠牲層がエッチングにより除去され前記クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に前記溝に連結された隙間が形成されていることを特徴とする。

【0021】

本発明においては、ヒータにより光導波路を加熱することにより、この光導波路を導波する光の位相を変化させることができる。このとき、クラッド層における前記ヒータの少なくとも直下域を挟む領域に溝を形成し、前記クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に前記溝に連結された隙間を形成することにより、ヒータで発生した熱がクラッド層を介して基板に直接伝達することを抑制でき、少ない加熱量で効率良く光導波路層の温度を上げることができる。この結果、消費電力が大幅に低減され、大規模集積化が可能となる。

【0022】

また、基板の全面に犠牲層を形成することにより、この犠牲層の上面が平坦となり、クラッド層の形成が容易になると共に、光導波路の光学特性が良好になる。更に、溝を介してクラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間の犠牲層を選択的に除去することにより、簡便に前記隙間を形成することができる。この結果、光学特性が優れた熱光学位相シフタを、容易に制御性良く高収率で作製することが可能となる。また、犠牲層及びクラッド層の成膜を連続的に行うことができ、作製プロセスを大幅に簡略化することができる。この結果、作製コスト低減と高収率化とを実現することが可能である。なお、犠牲層を断続的に設けることにより、犠牲層内に生じる応力を十分に開放でき、成膜プロセスの高信頼性と高い再現性を実現することができる。

【0023】

また、前記隙間の一部に設けられ、前記クラッド層における前記溝間の部分を前記基板に対して支持する支柱部を有していてもよい。これにより、光導波路層に印加される応力が小さくなるため、光学特性の劣化を防ぐことができる。更に、光導波路の強度を確保でき、高密度集積化にも有利となる。

【0024】

更に、前記支柱部が前記犠牲材料により形成されていてもよい。これにより、支柱部を形成するために特別な工程を設けることなく、前記犠牲層をエッチングする工程を途中で止めることにより、支柱部を形成することができる。

【0025】

又は、前記支柱部が前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により形

成されていてもよい。これにより、犠牲層のエッチングを途中で停止して支柱部を残す場合と比較して、支柱部の形成を自己整合的に行うことができ、作製の制御性及び再現性が向上し、支柱部の形状のばらつきが小さくなる。また、支柱部を熱伝導率が小さい材料により形成することにより、熱光学位相シフトの消費電力をより一層低減することができる。

【0026】

更にまた、前記犠牲材料の熱伝導率が、前記基板を形成する材料の熱伝導率よりも小さいことが好ましい。これにより、犠牲層の一部をヒータ下方域に残したとしても、この犠牲層の熱伝導率が小さいことにより、ヒータで発生した熱が基板に伝達することを極力抑制でき、少ない加熱量で効率良く光導波路層の温度を上げることができる。この結果、1つの熱光学位相シフトにおける消費電力が大幅に低減され、大規模集積化が可能となる。

【0027】

更にまた、前記犠牲材料がリンを含むガラス材料であり、前記クラッド層を形成する材料がボロン及びリンを含むガラス材料であることが好ましい。これにより、犠牲層とクラッド層との間でBHF溶液によるエッチング速度差が十分に得られ、犠牲層除去工程でクラッド層を劣化させることがないために、作製工程の高い信頼性及び良好な再現性を実現でき、更に、伝搬損失が小さく光学特性が優れた熱光学位相シフトの実現が可能となる。

【0028】

更にまた、前記支柱部が、前記コアの直下域において前記コアが延びる方向の全長にわたって連続的に形成されていてもよい。これにより、強い機械的振動を受ける環境で利用する場合等に支柱部が支えとして働き、光導波路の破断等の故障を防ぐことができる。さらに、支柱部の熱伝導率を基板よりも小さくすることにより、前述の従来技術に記載されているような基板を支えとする場合と比較して、ヒータから基板側へ熱が逃げる経路を実質的に減少させることができ、大幅な消費電力の低減が可能となる。

【0029】

又は、前記支柱部が、前記コアの直下域において前記コアが延びる方向の一部

に形成されていてもよい。これにより、ヒータが設置された光導波路部を周辺のクラッド層から分離して、応力を最大限に開放して光学特性劣化の抑制を図れると共に、この光導波路の一部を基板側から支えることにより、機械的強度も確保することができる。更に、支柱部以外の部分は断熱性が極めて高いため、消費電力を大幅に低減することでき、熱光学部品の大規模集積化が可能となる。

【0030】

更にまた、前記溝を張架するように設けられ、前記クラッド層における前記溝間の部分を、この部分と共に前記溝を挟む部分に対して支持する支持梁を有することが好ましい。これにより、光導波路に印加される応力を最大限開放できると共に、光導波路の強度が向上し、強い機械的振動を受ける環境下での使用も可能となる。なお、支持梁を設けることにより、消費電力が多少増加するが、支持梁の下方にある犠牲層が除去されているため、光導波路から支持梁を介して基板へ熱が逃げるのが抑制され、十分な消費電力低減効果が得られる。

【0031】

更にまた、前記溝における前記コアが延びる方向に平行な側面のうち前記コアに近い側の側面は、前記コアが延びる方向における端部において、前記方向における端縁に近づくにつれて前記コアから離れるように湾曲していることが好ましい。これにより、ブリッジ状の光導波路の根元の部分に相当する最も機械的に弱い部分を、作製工程を全く変更することなく補強することができるため、熱光学位相シフトの信頼性をより一層向上させることができる。

【0032】

更にまた、前記ヒータが前記クラッド層の表面に設けられていてもよい。これにより、ヒータから発生する熱が光導波路の温度上昇に寄与せずに基板に直接逃げてしまうことを抑制でき、光導波路の加熱効率を向上させることができる。また、熱光学位相シフトの作製工程が簡略化され、高収率性を実現することが可能となる。

【0033】

又は、前記ヒータが前記クラッド層中に設けられていてもよい。これにより、ヒータが空気中に曝されないことで安定化を図れると共に、作製中にヒータがエ

ツチング液などにより変形を受けたり変質が起きたりすることが無くなり、信頼性が高い熱光学位相シフトを作製することが可能となる。

【0034】

更にまた、前記コア及び前記クラッド層が石英を含むガラス材料により形成されていることが好ましい。これにより、光導波路の伝搬損失が小さく光学特性及び安定性が優れた熱光学位相シフトの実現が可能となる。

【0035】

更にまた、前記基板が石英を含むガラス材料又はシリコンにより形成されていることが好ましい。これにより、シリコン半導体プロセスを使用して、本発明の熱光学位相シフトを作製することができる。このため、熱光学位相シフトの作製が容易になり、作製の信頼性及び再現性を向上させることができる。

【0036】

本発明に係る熱光学位相シフトの製造方法は、基板上の全面にこの基板を形成する材料よりもエッチング速度が大きい犠牲材料により犠牲層を形成する工程と、この犠牲層上に前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により下側クラッド層を形成する工程と、この下側クラッド層上に直線又は曲線状に延びるコアを形成する工程と、このコアを覆うように前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により上側クラッド層を形成する工程と、この上側クラッド層上における前記コアの直上域を含む領域に発熱することにより前記下側クラッド層、コア及び上側クラッド層からなる光導波路の光の位相を変化させるヒータを形成する工程と、前記上側クラッド層及び下側クラッド層における前記ヒータの直下域を挟む領域に前記犠牲層又は基板まで到達する溝を形成する工程と、この溝を介して前記下側クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に位置する前記犠牲層をエッチングして除去し、前記下側クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に前記溝に連結された隙間を形成する工程と、を有することを特徴とする。

【0037】

本発明に係る他の熱光学位相シフトの製造方法は、基板上の全面にこの基板を形成する材料よりもエッチング速度が大きい犠牲材料により犠牲層を形成する工

程と、この犠牲層上に前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により第1の下側クラッド層を形成する工程と、この第1の下側クラッド層上にヒータを形成する工程と、このヒータ上に前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により第2の下側クラッド層を形成する工程と、この第2の下側クラッド層上における前記ヒータの直上域を含む領域に直線又は曲線状に延びるコアを形成する工程と、このコアを覆うように前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により上側クラッド層を形成する工程と、前記上側クラッド層及び前記第2の下側クラッド層における前記ヒータの直上域並びに前記第1の下側クラッド層における前記ヒータの直下域を挟む領域に前記犠牲層又は基板まで到達する溝を形成する工程と、この溝を介して前記第1の下側クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に位置する前記犠牲層をエッチングして除去し、前記第1の下側クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に前記溝に連結された隙間を形成する工程と、前記上側クラッド層及び第2の下側クラッド層に前記ヒータに接続するビアを形成する工程と、を有することを特徴とする。

【0038】

本発明に係る更に他の熱光学位相シフタの製造方法は、基板上にこの基板を形成する材料よりもエッチング速度が大きい犠牲材料により膜厚が $4\mu\text{m}$ 以上の犠牲層を選択的に形成する工程と、この犠牲層上に前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により下側クラッド層を形成する工程と、この下側クラッド層上における前記犠牲層の上方域を含む領域に直線又は曲線状に延びるコアを形成する工程と、このコアを覆うように前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により上側クラッド層を形成する工程と、この上側クラッド層上における前記コアの直上域を含む領域に発熱することにより前記下側クラッド層、コア及び上側クラッド層からなる光導波路の光の位相を変化させるヒータを形成する工程と、前記上側クラッド層及び下側クラッド層における前記ヒータの直下域を挟む領域に前記犠牲層又は基板まで到達する溝を形成する工程と、この溝を介して前記犠牲層をエッチングして除去し、前記下側クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に前記溝に連結された $4\mu\text{m}$ 以上の隙間を形成する工程と、を有することを特徴とする。

【0039】

本発明に係る更に他の熱光学位相シフタの製造方法は、基板上にこの基板を形成する材料よりもエッチング速度が大きい犠牲材料により膜厚が $4\mu\text{m}$ 以上の犠牲層を選択的に形成する工程と、この犠牲層上に前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により第1の下側クラッド層を形成する工程と、この第1の下側クラッド層上における前記犠牲層の直上域を含む領域にヒータを形成する工程と、このヒータ上に前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により第2の下側クラッド層を形成する工程と、この第2の下側クラッド層上における前記ヒータの直上域を含む領域に直線又は曲線状に延びるコアを形成する工程と、このコアを覆うように前記犠牲材料よりもエッチング速度が小さい材料により上側クラッド層を形成する工程と、この上側クラッド層及び第2の下側クラッド層における前記ヒータの直上域並びに前記第1の下側クラッド層における前記ヒータの直下域を挟む領域に前記犠牲層又は基板まで到達する溝を形成する工程と、この溝を介して前記犠牲層をエッチングして除去し、前記第1の下側クラッド層における前記溝間の部分と前記基板との間に前記溝に連結された $4\mu\text{m}$ 以上の隙間を形成する工程と、前記上側クラッド層及び第2の下側クラッド層に前記ヒータに接続するビアを形成する工程と、を有することを特徴とする。

【0040】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施例について添付の図面を参照して具体的に説明する。まず、本発明の第1の実施例について説明する。図1(a)は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、(b)は(a)に示すA1-A1'線による断面図である。また、図2(a)乃至(d)は本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法をその工程順に示す断面図である。

【0041】

図1(a)及び(b)に示すように、本実施例に係る熱光学位相シフタにおいては、例えばシリコンからなり厚さが 0.8mm の基板1が設けられ、この基板1上に、犠牲層2が設けられている。犠牲層2は、例えばガラスにリンをドーピングしたリン添加シリカガラス(PSG)により形成されており、その膜厚は例えば

5 μm である。そして、犠牲層 2 上にはクラッド層 13 が設けられている。クラッド層 13 は、犠牲層 2 上に設けられた下側クラッド層 3 と、この下側クラッド層 3 上に設けられた上側クラッド層 5 とから構成されている。下側クラッド層 3 及び上側クラッド層 5 は例えばガラスにボロン及びリンをドープした BPSG により形成されており、その膜厚は例えば夫々 14 μm 及び 15 μm である。なお、基板 1 はシリコン以外の半導体又は石英ガラス等の絶縁体から形成されていてもよい。また、犠牲層 2 は、PSG に限らず、基板 1 及びクラッド層 13 よりもエッチング速度が大きく、基板 1 及びクラッド層 13 に対して選択エッチングが可能な材料により形成されていればよく、この条件を満たす限り、例えば半導体又は PSG 以外のガラスにより形成されていてもよい。

【0042】

また、下側クラッド層 3 上には基板 1 の表面に平行な方向に延びるコア 4 が設けられており、上側クラッド層 5 はコア 4 を覆うように設けられている。コア 4 及びコア 4 の周囲のクラッド層 13 により、光導波路 14 が形成されている。コア 4 の長手方向に直交する断面の形状は、高さが例えば 5.5 μm 、幅が例えば 5.5 μm の矩形である。また、コア 4 はクラッド層 13 よりも屈折率が高い材料、例えば、GPSG（ゲルマニウム・リン添加シリカガラス）により形成されており、コア 4 とクラッド層 13 との比屈折率差 Δ は例えば 0.65% である。

【0043】

更に、光導波路 14 上、即ち、上側クラッド層 5 の表面には、薄膜ヒータ 6 が設けられている。薄膜ヒータ 6 は例えばクロムからなる薄膜であり、膜厚は例えば 0.2 μm である。薄膜ヒータ 6 は両端部の電極部分 6a と、電極部分 6a 間のヒータ部分 6b とからなっている。電極部分 6a の形状は例えば正方形であり、ヒータ部分 6b の形状は、幅が例えば 10 μm 、長さが例えば 4 mm の細線状である。

【0044】

更にまた、クラッド層 13 及び犠牲層 2 における薄膜ヒータ 6 の下方に相当する領域、即ち光導波路 14 の両脇には、コア 4 が延びる方向と平行に延びる溝 8

が形成されている。即ち、溝 8 は光導波路 14 を挟むように 2ヶ所に形成されている。溝 8 の長手方向、即ちコア 4 が延びる方向の長さは例えば 4 mm であり、溝 8 の幅、即ち、コア 4 が延びる方向に直交する方向の長さは例えば 250 μm であり、溝 8 の深さは例えば 29 μm である。溝 8 間の距離、即ち、光導波路 14 のリッジ幅は例えば 25 μm である。更にまた、光導波路 14 と基板 1 との間においては、犠牲層 2 が除去され、隙間 15 が形成されている。隙間 15 の高さは犠牲層 2 の膜厚と等しく、例えば 5 μm である。これにより、光導波路 14 は、2本の溝 8 及び隙間 15 により、光導波路 14 以外のクラッド層 13、犠牲層 2 及び基板 1 から離間され、橋梁状となっている。なお、犠牲層 2 は基板 1 上において隙間 15 を除く全面に形成されている。また、溝 8 は犠牲層 2 に達するように形成されていてもよい。

【0045】

次に、本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法について説明する。先ず、図 2 (a) に示すように、例えばシリコンからなり、厚さが例えば 0.8 mm である基板 1 上に、常圧化学気相成膜法 (AP-CVD) により、犠牲層 2 を作製する。犠牲層 2 を形成する材料は、基板 1 及びクラッド層 13 に対して選択エッチングが可能な材料であればよく、例えば、半導体又はガラス等であればよいが、本実施例においては PSG とする。また、犠牲層 2 の膜厚は例えば 5 μm とする。次に、AP-CVD により、石英を主成分とするガラス膜、例えば BPSG を例えば厚さ 14 μm に成膜し、下側クラッド層 3 を形成する。犠牲層 2 を形成する PSG と、下側クラッド層 3 を形成する BPSG とは、ドーピングする元素を途中で変化させることにより、AP-CVD による連続成膜が可能である。

【0046】

そして、下側クラッド層 3 上に、下側クラッド層 3 よりも屈折率が高い材料により、薄膜 4a を形成する。薄膜 4a は、例えば下側クラッド層 3 との比屈折率差 Δ が 0.65% となるようにゲルマニウム及びリンの混入量を調節した GP SG (ゲルマニウム・リン添加シリカガラス) からなっており、AP-CVD により例えば 5.5 μm の厚さに成膜する。

【0047】

次に、図2 (b) に示すように、フォトリソグラフィ及び反応性イオンエッチング (RIE) により薄膜4 aをパターンニングして、基板1の表面に平行な方向に延び、この方向に直交する断面が矩形状であるコア4を形成する。コア4の幅は例えば $5.5\mu\text{m}$ とする。次に、コア4を埋め込むように、例えばBPSGからなる上側クラッド層5をAP-CVDにより例えば $15\mu\text{m}$ の膜厚に形成し、埋め込み型の光導波路を作製する。

【0048】

次に、図2 (c) に示すように、上側クラッド層5の表面におけるコア4の直上域に、例えばクロム薄膜等の金属膜を電子ビーム蒸着法により例えば $0.2\mu\text{m}$ の膜厚に成膜する。そして、フォトリソグラフィ及びウェットエッチングにより、所定の形状にパターンニングし、薄膜ヒータ6を形成する。

【0049】

この後、図2 (d) に示すように、上側クラッド層5及び薄膜ヒータ6を覆うようにレジスト7を成膜する。レジスト7には、フォトリソグラフィにより、薄膜ヒータ6の両側に2ヶ所の開口部7 aを形成する。開口部7 a間の距離は例えば $25\mu\text{m}$ である。そして、レジスト7をマスクとしてRIEによりエッチングを行い、クラッド層13及び犠牲層2における薄膜ヒータ6の両脇に相当する領域を選択的に除去し、基板1に達する深さの溝8を形成する。

【0050】

そして、図1 (b) に示すように、薄膜ヒータ6を保護するためにレジスト7を残したまま、溝8を介して緩衝フッ化水素溶液 (BHF) により犠牲層2のウェットエッチングを行い、光導波路14の下方に位置する犠牲層2を除去する。これにより、溝8間における基板1とクラッド層13との間の領域に隙間15を形成する。隙間15の高さは犠牲層2の膜厚と等しく、例えば $5\mu\text{m}$ である。なお、このとき、エッチング液として緩衝フッ化水素溶液 (BHF) を使用すると、犠牲層2の材料であるPSGに対するエッチング速度は、クラッド層13の材料であるBPSGに対するエッチング速度の6乃至10倍程度となる。また、基板1の材料であるシリコンはほとんどエッチングされない。このため、PSG膜は犠牲層としての機能する。このようにして、本実施例の熱光学位相シフタを作

製できる。

【0051】

次に、本実施例に係る熱光学位相シフタの動作について説明する。外部電源（図示せず）により薄膜ヒータ6に電力を投入する。これにより、薄膜ヒータ6が発熱し、光導波路14の温度を上昇させることでその屈折率を変化させて、光導波路14の実効長を変化させる。この結果、入力端（図示せず）から光導波路14に入射された光の出力端（図示せず）における位相を変化させることができる。

【0052】

本実施例においては、光導波路14が基板1及び光導波路14以外のクラッド層13から離間されているため、薄膜ヒータ6が発した熱が基板1及びクラッド層13に逃げることを抑制でき、光導波路14を効率的に加熱することができる。なお、薄膜ヒータ6において発生した熱は、クラッド層13の長手方向、並びに溝8及び隙間15に充填された空気を伝わって多少は逃げて行くが、本実施例の熱光学位相シフタの構造では、熱伝導パスが少ないため、逃げていく熱量は極めて小さい。従って、効率よく光導波路14を加熱することができる。このため、熱光学位相シフタの駆動に伴う消費電力が極めて小さい。

【0053】

なお、基板1と光導波路14との間の距離、即ち隙間15を大きくするほど、光導波路14の断熱性が向上し、熱光学位相シフタの消費電力が低減する。隙間15の高さ、即ち犠牲層2の膜厚を4 μ m以上とすることにより、熱光学位相シフタの消費電力を、従来の最小値である40mWから更に半減して20mW以下とすることができる。このため、隙間15は4 μ m以上であることが好ましい。

【0054】

本実施例においては、入射光として波長が1550nmの光を使用すると、位相シフト量を半波長分とするのに必要な電力量が実測で10mW程度となった。これは、従来の熱光学位相シフタの消費電力の1/40に相当する極めて小さな値である。即ち、本実施例の熱光学位相シフタにより40チャンネルの光スイッチを作製した場合、この光スイッチを、通常の熱光学位相シフタによる光スイッ

チ1チャンネル分の電力で制御することができることになる。これに伴い、電源回路の簡略化等、外部パッケージの小型化も図ることができ、デバイスのより一層の小型化・大規模化が可能となる。

【0055】

また、本実施例においては、光導波路14が基板1及びクラッド層13から離間しているため、基板1及びクラッド層13から印加される応力が少ない。また、犠牲層2が5 μ m程度と薄いため、犠牲層2から光導波路14に働く応力も少ない。更に、基板1をエッチングしていないため、基板1から光導波路14に印加される応力がエッチング量に応じて変化することがなく、エッチングにより基板1が脆弱になることもない。更にまた、下側クラッド層3の形成時点においては、犠牲層2を基板1上の全面に形成しているため、下側クラッド層3の表面が平坦になり、この平坦な面上にコア4を形成できる。このため、本実施例に係る熱光学位相シフタは、応力に起因する偏光依存性が少なく、光学特性が良好であると共に、機械的強度が高い。更に、本実施例の熱光学位相シフタは、その材料としてポリマーを使用していないため、耐熱性が高く、安定性及び信頼性が優れている。

【0056】

本実施例に係る熱光学位相シフタは、光学特性においても、従来の熱光学位相シフタと比較して損なわれている点は全くなく、波長の3倍の位相シフト量を得られる温度（投入電力は60mW程度）に加熱しても、熱応力による破断等は全く生ぜず、機械的強度は問題ないことを確認した。

【0057】

更にまた、本実施例においては、シリコンをエッチングする工程がないため、エッチング液としてフッ硝酸等の強酸を使用する必要がない。また、前述の如く、犠牲層2を基板1上の全面に形成しているため、下側クラッド層3の表面に段差が形成されることがなく、平坦である。更に、溝8を形成するために設けたレジスト7を、溝8の形成後に薄膜ヒータ6の保護膜としてそのまま使用することができる。これにより、溝8の形成後にレジストを新たに形成する必要がない。更にまた、熱光学位相シフタの材料としてポリマーを使用していないため、アニ

ールに対する制約もない。このため、本実施例に係る熱光学位相シフタは製造が容易である。本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法は、従来の熱光学位相シフタの製造方法からの変更点が極めて少なく、新たなエッチング装置等を導入する必要も無い。また、歩留まりの低下を招くような負荷が高いプロセスも無く、いずれの光導波路にもすぐに適応が可能である。

【0058】

次に、本発明の第2の実施例について説明する。図3 (a) は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、(b) は(a) に示すA2-A2' 線による断面図である。本実施例における光導波路14、薄膜ヒータ6及び溝8の構成及び製造方法は、前述の第1の実施例と同様であるため、詳細な説明は省略する。本第2実施例の特徴は、前述の第1の実施例では薄膜ヒータ6の下方における犠牲層2を全てエッチングして除去したが、本実施例では犠牲層2の一部を残して支柱2aを形成したことにある。残留させる犠牲層2 (支柱2a) の幅はエッチング速度を予め明らかにしておくことで、エッチング時間で制御することができる。

【0059】

熱光学位相シフタが極めて強い振動等の機械的ストレスを受ける場合は、前述の第1の実施例における光導波路14の構造は吊り橋と同様であるため、場合によっては光導波路14が破断する可能性がある。また、破断しないまでも、光導波路14が湾曲して基板1又は光導波路14以外のクラッド層13に接触してしまい、熱効率が低下して消費電力が増大する可能性がある。光導波路14を支えるために、特開平1-158413号公報等ではシリコン基板のエッチングを途中で止める方法が示されているが、シリコンのような熱伝導性が高い材料により支柱を形成すると、消費電力が著しく増大してしまうという問題が生じる。このように、強度の確保と消費電力の低減との間でトレードオフが存在する。これに対して、本実施例のように、犠牲層2を熱伝導性が低いPSG等で構成し、光導波路14の直下に位置する犠牲層2の一部を残留させることにより支柱2aを形成することにより、支柱を熱伝導性が高いシリコン等により形成する場合と比較して、大幅な消費電力の低減を図ることが可能となる。

【0060】

本実施例に係る熱光学位相シフトの消費電力は、残留させる犠牲層 2、即ち、支柱 2 a の幅によって大きく変化する。支柱 2 a の幅が $5\ \mu\text{m}$ の場合及び $10\ \mu\text{m}$ の場合に、波長が $1550\ \text{nm}$ の光に対して半波長分の位相シフト量が得られる消費電力を実測した結果、夫々約 $60\ \text{mW}$ 及び約 $120\ \text{mW}$ となった。従って、従来の熱光学位相シフトと比較して、十分に消費電力を図ることができた。なお、前述の第 1 の実施例のように、光導波路を完全に基板から分離する場合と比較すると、6 乃至 12 倍の電力が必要となってしまう。但し、機械的強度は、本実施例に係る熱光学位相シフトは、前述の第 1 の実施例に係る熱光学位相シフトよりも優れている。従って、用途に応じて前述の第 1 の実施例に係る熱光学位相シフトと本実施例に係る熱光学位相シフトとを選択すればよい。

【0061】

次に、本発明の第 3 の実施例について説明する。図 4 (a) 乃至 (d) は本実施例に係る熱光学位相シフトの製造方法をその工程順に示す断面図である。また、図 5 (a) は本実施例に係る熱光学位相シフトを示す平面図であり、(b) は (a) に示す A 3 - A 3' 線による断面図である。前述の第 1 の実施例においては、犠牲層 2 を基板 1 上の全面に形成し、犠牲層 2 と下側クラッド層 3 とを連続成膜したが、本実施例においては、犠牲層 2 を薄膜ヒータ 6 の下方に相当する領域のみに設けたことを特徴とする。

【0062】

犠牲層 2 を形成する材料によっては、基板 1 の全面に犠牲層 2 を成膜することにより、極めて大きな応力が生じる。このため、光導波路 14 の光学特性の劣化及び光導波路の形成における成膜の不具合等が起こることがある。このため、本実施例においては、先ず犠牲層 2 のみを成膜した後、犠牲層 2 が必要な部分のみに残るようにパターニングする。

【0063】

先ず、図 4 (a) に示すように、基板 1 上の全面に犠牲層 2 を成膜する。そして、フォトリソグラフィ及び R I E により犠牲層 2 をパターニングして選択的に除去する。このとき、犠牲層 2 は薄膜ヒータ 6 の下方のみに残留して細線状とな

るため、膜応力は解放される。犠牲層 2 の材料には、前述の第 1 の実施例と同様に、例えば PSG を使用する。

【0064】

次に、図 4 (b) に示すように、この犠牲層 2 上に、前述の第 1 の実施例と同様な方法により、下側クラッド層 3、コア 4、上側クラッド層 5 を形成する。次に、図 4 (c) に示すように、上側クラッド層 5 の表面における犠牲層 2 の上方に相当する領域に、薄膜ヒータ 6 を形成する。次に、図 4 (d) に示すように、前述の第 1 の実施例と同様に上側クラッド層 5 及び薄膜ヒータ 6 上にレジスト 7 を形成する。そして、このレジスト 7 をマスクとして上側クラッド層 5、下側クラッド層 3 及び犠牲層 2 を順次エッチングすることにより、光導波路 14 の両側にエッチング用の溝 8 を形成する。

【0065】

その後、図 5 (a) 及び (b) に示すように、溝 8 を介して犠牲層 2 (図 4 (d) 参照) のウェットエッチングを行い、犠牲層 2 を除去する。これにより、犠牲層 2 が残留しておらず、溝 8 の外側においては、基板 1 上に下側クラッド層 3 が設けられた熱光学位相シフタを作製することができる。本実施例における上記以外の構成及び製造方法は、前述の第 1 の実施例と同様である。

【0066】

本実施例においては、犠牲層を選択エッチングしているため、工程としては 1 ステップの増加となるが、犠牲層に生じる応力を開放することができる。このため、光導波路 14 の偏光依存性をより一層低減することができ、光学特性がより向上する。また、予め犠牲層 2 をパターニングすることにより、ウェットエッチングにより犠牲層 2 を除去する際のエッチングのばらつきがなくなり、より一層の信頼性及び歩留まりの向上を図ることができる。

【0067】

更に、犠牲層 2 を PSG により形成することにより、エッチング液として BHF を使用することができる。このため、前述の特許第 3152182 号に記載されているように、犠牲層をシリコンにより形成して、エッチング液としてフッ硝酸を使用する必要がない。このため、本実施例に係る熱光学位相シフタは、特許

第3152182号に記載されている熱光学位相シフタと比較して、製造が容易である。

【0068】

次に、本発明の第4の実施例について説明する。図6(a)は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、(b)は(a)に示すA4-A4'線による断面図である。本実施例は前述の第2の実施例と第3の実施例とを組み合わせた実施例である。図6(a)及び(b)に示すように、本実施例においては、犠牲層2(図4(d)参照)と光導波路14の作製方法は第3の実施例と同様であるが、本実施例の特徴は犠牲層2の一部を残して支柱2aを形成したことにある。残留させる犠牲層2の幅はエッチング速度を予め明らかにしておくことで、エッチング時間を調整することにより制御することができる。支柱2aを形成する理由は前述の第2の実施例において説明したとおりであり、低消費電力化の効果は小さくなるが、強度を向上させることができる。このため、熱光学位相シフタに大きな機械的強度が必要不可欠な場合には、前述の第3の実施例に係る熱光学位相シフタに替わって使用することができ、これにより、強度の確保と低消費電力化とのバランスをとることができる。

【0069】

次に、本発明の第5の実施例について説明する。図7(a)は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、(b)は(a)に示すA5-A5'線による断面図である。また、図8(a)乃至(d)は本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法をその工程順に示す断面図である。前述の第1の実施例においては、薄膜ヒータ6が上側クラッド層5の表面に形成されているが、本実施例においては、薄膜ヒータ6が下側クラッド層3の内部に形成されている。即ち、下側クラッド層3が犠牲層2上に形成されている第1の下側クラッド層9と、この第1の下側クラッド層9上に形成されている第2の下側クラッド層10とから構成されており、第1の下側クラッド層9上に薄膜ヒータ6が形成されており、この薄膜ヒータ6を埋め込むように、第2の下側クラッド層10が形成されている。また、第2の下側クラッド層10及び上側クラッド層5には、薄膜ヒータ6の電極部分6aに電力を供給するためのビア11が設けられている。

【0070】

次に、本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法について説明する。先ず、図8（a）に示すように、基板1上に犠牲層2を形成した後、第1の下側クラッド層9を成膜し、薄膜ヒータ6の材料となるクロム膜を成膜し、パターニングする。次に、図8（b）に示すように、第2の下側クラッド層10を成膜して薄膜ヒータ6を埋め込み、コア4の材料となる薄膜4aの成膜を行う。次に、図8（c）に示すように、薄膜4aをパターニングしてコア4を形成し、上側クラッド層5を成膜する。次に、図8（d）に示すように、溝8を形成し、犠牲層2をエッチングする。そして、上側クラッド層5及び第2の下側クラッド層10に、薄膜ヒータ6に接続する電極用ビア11を形成する。電極用ビア11の形成はフォトリソグラフィ及びRIEにより行う。これにより、図7（a）及び（b）に示すような熱光学位相シフタを作製することができる。本実施例における上記以外の構成及び製造方法は、前述の第1の実施例と同様である。

【0071】

前述の第1乃至第4の各実施例においては、溝8を形成する際に使用するレジスト7（図2（d）参照）を、溝8を形成した後も残しておき、犠牲層2のエッチング時に薄膜ヒータ6を保護するために使用している。しかしながら、光導波路を形成する材料が半導体等である場合、犠牲層のエッチングに強酸を使用することがあり、レジストが強酸に耐えられない場合がある。そこで、薄膜ヒータ6を下側クラッド層3中に設けることにより、強酸から保護することができる。この結果、熱光学位相シフタの製造が容易になり、信頼性が向上する。

【0072】

次に、本発明の第6の実施例について説明する。図9（a）は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、（b）は（a）に示すA6-A6'線による断面図である。本実施例は前述の第2の実施例と第5の実施例とを組み合わせた実施例である。即ち、図9（a）及び（b）に示すように、基板1と光導波路14との間の隙間15に、PSGからなる支柱2aが設けられている。支柱2aの形成方法は前述の第2の実施例と同様である。また、本実施例における上記以外の構成及び製造方法は、前述の第5の実施例と同様である。本実施例におい

ては、大きな機械的強度を確保できると共に、犠牲層をエッチングする際に、レジストによらずに薄膜ヒータを保護することができる。

【0073】

次に、本発明の第7の実施例について説明する。図10(a)は本実施例に係る熱光学位相シフトを示す平面図であり、(b)は(a)に示すA7-A7'線による断面図である。また、図11(a)乃至(d)は本実施例に係る熱光学位相シフトの製造方法をその工程順に示す断面図である。本実施例は前述の第3の実施例と第5の実施例とを組み合わせた実施例である。前述の第5の実施例においては、犠牲層2を基板1上の全面に形成し、犠牲層2と下側クラッド層3とを連続成膜したが、本実施例においては、前述の第3の実施例と同様に、犠牲層2を薄膜ヒータ6の下方に相当する領域のみに設ける。

【0074】

即ち、図10(a)及び(b)に示すように、本実施例においては、光導波路14の下側クラッド層3が第1の下側クラッド層9及び第2の下側クラッド層10から構成されており、両者の間に薄膜ヒータ6が配置されている。本実施例における上記以外の構成は、前述の第3の実施例と同様である。

【0075】

次に、本実施例に係る熱光学位相シフトの製造方法について説明する。まず、図11(a)に示すように、前述の第3の実施例と同様に、基板1の表面に選択的に犠牲層2を形成する。次に、図11(b)に示すように、前述の第5の実施例と同様に、基板1及び犠牲層2上に第1の下側クラッド層9、薄膜ヒータ6、第2の下側クラッド層10及び薄膜4aを形成する。次に、図11(c)に示すように、薄膜4aをパターニングしてコア4を形成し、このコア4を覆うように、上側クラッド層5を形成する。次に、図11(d)に示すように、上側クラッド層5上にレジスト7を形成し、このレジスト7をマスクとして、上側クラッド層5、下側クラッド層3をエッチングし、溝8を形成する。

【0076】

次に、図10(a)及び(b)に示すように、溝8を介して犠牲層2をエッチングして除去し、隙間15を形成する。そして、上側クラッド層5及び第2の下

側クラッド層 10 に、電極用ビア 11 を形成する。

【0077】

本実施例においては、前述の第 3 の実施例と同様の理由により、犠牲層の応力を解放して、光学特性及び機械的強度の改善を図ることができる。また、前述の第 5 の実施例と同様な理由により、エッチング時に薄膜ヒータ 6 を保護することができる。

【0078】

次に、本発明の第 8 の実施例について説明する。図 12 (a) は本実施例に係る熱光学位相シフトを示す平面図であり、(b) は (a) に示す A 8 - A 8' 線による断面図である。図 12 (a) 及び (b) に示すように、本実施例は前述の第 4 の実施例と第 5 の実施例とを組み合わせた実施例であり、換言すれば、本実施例は前述の第 2 の実施例と第 7 の実施例とを組み合わせた実施例である。本実施例においては、隙間 15 において、犠牲層 2 の一部を残留させて、PSG からなる支柱 2 a を形成している。本実施例における上記以外の構成及び製造方法は、前述の第 7 の実施例と同様である。本実施例においては、光学特性及び機械的強度の向上を図ることができると共に、エッチング時に薄膜ヒータ 6 を保護することができる。

【0079】

次に、本発明の第 9 の実施例について説明する。図 13 (a) は本実施例に係る熱光学位相シフトを示す平面図であり、(b) は (a) に示す A 9 - A 9' 線による断面図であり、(c) は (a) に示す B 9 - B 9' 線による断面図である。図 13 (a) 及び (b) に示すように、本実施例の熱光学位相シフトにおいては、溝 8 における長手方向、即ちコア 4 が延びる方向に平行な側面のうち、コア 4 に近い側の側面 8 a が、長手方向端部において、端部 8 b に近づくにつれてコア 4 から離れるようにテーパ状に湾曲している。これにより、光導波路 14 の橋梁部 14 a における根元部 14 b が、橋梁部 14 a における根元部 14 b 以外の部分よりも太くなっている。また、隙間 15 における根元部 14 b の下方に相当する領域においては、犠牲層 2 がエッチング時に残留し、支柱 2 a を形成している。本実施例における上記以外の構成は、前述の第 1 の実施例と同様である。

【0080】

前述の第1の実施例に係る熱光学位相シフタにおいて、機械的に最も弱い部分は光導波路14の橋梁部14aにおける根元部14bであり、この部分に最も機械的ストレスが集中すると考えられる。本実施例においては、この根元部14bをテーパ状の形状とすることにより、補強している。これにより、熱光学位相シフタの信頼性をより一層向上させることができる。また、本実施例に係る熱光学位相シフタを製造するためには、前述の第1の実施例において、レジスト7をパターンニングする際のフォトリソグラフィマスクパターンを変更すればよく、マスク形状以外に前述の第1の実施例における熱光学位相シフタの作製工程を変更することなく、第1の実施例と同様に自己形成工程により、熱光学位相シフタを作製することができる。

【0081】

次に、本発明の第10の実施例について説明する。図14(a)は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、(b)は(a)に示すA10-A10'線による断面図であり、(c)は(a)に示すB10-B10'線による断面図である。図14(a)乃至(c)に示すように、本実施例においては、光導波路14の橋梁部14aの途中に、光導波路14をクラッド層13に対して支持する梁16が設けられている。梁16は、コア4が延びる方向に直交する方向に延びており、溝8を張架するように設けられている。本実施例における上記以外の構成は、前述の第1の実施例と同様である。

【0082】

前述の第1の実施例においては、光導波路14の橋梁部14aが長手方向に長くなった場合、橋梁部14aの横方向、即ち、コア4が延びる方向に直交する方向における自由度が大きくなり、場合によっては途中で光導波路14が曲がり、伝搬損失が増大するか、又はクラッド層13における光導波路14以外の部分若しくは基板1と接触して断熱性が損なわれてしまう可能性がある。

【0083】

これに対して、本実施例においては、梁16を設けることにより、橋梁部14aの横方向における自由度を低減している。これにより、光導波路14が外力を

受けたときに、橋梁部 14 a が横方向に撓むことを防止でき、熱光学位相シフタの信頼性が向上する。このような構造とすることにより、断熱性が多少損なわれることが考えられるが、梁 16 を形成する材料の熱伝導性が十分に低い場合には、基板 1 までの熱伝導パスが長いこともあり、あまり大きな熱伝導パスにはならない。なお、本実施例に係る熱光学位相シフタを製造するためには、前述の第 1 の実施例において、レジスト 7 をパターンニングする際のフォトリソグラフィマスクパターンを変更すればよく、マスク形状以外に前述の第 1 の実施例における熱光学位相シフタの作製工程を変更することなく、第 1 の実施例と同様に自己形成工程により、熱光学位相シフタを作製することができる。なお、梁 16 の数は左右 1 本ずつに限定されず、左右に複数本ずつ設けてもよい。

【0084】

次に、本発明の第 11 の実施例について説明する。図 15 (a) は本実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、(b) は (a) に示す A 11-A 11' 線による断面図であり、(c) は (a) に示す B 11-B 11' 線による断面図である。図 15 (a) 乃至 (c) に示すように、本実施例においては、光導波路 14 の橋梁部 14 a の長手方向中央部の下方において、隙間 15 に支柱 2 a が設けられている。支柱 2 a は犠牲層 2 (図 1 (d) 参照) と同じ材料、即ち、PSG により形成されている。支柱 2 a は、基板 1 上に設けられ、光導波路 14 を基板 1 に対して支持し、橋梁部 14 a の上下方向の自由度を低減するものである。なお、橋梁部 14 a における支柱 2 a の上方に相当する部分 14 c は、他の部分よりも幅が大きくなっている。

【0085】

前述の第 1 の実施例においては、光導波路 14 の橋梁部 14 a が長手方向に長くなった場合、橋梁部 14 a の横方向における自由度が大きくなり、場合によっては途中で光導波路 14 が曲がり、伝搬損失が増大するか、又は基板 1 と接触して断熱性が損なわれてしまう可能性がある。

【0086】

そこで、本実施例においては、適当な位置に支柱を設けることで、これを防ぐことができる。このような構造とすることにより、断熱性が損なわれることが考

えられるが、支柱が基板よりも熱伝導性が低い PSG により形成されており、また支柱の大きさも縦及び横が夫々 $10\ \mu\text{m}$ 程度であれば、十分に熱伝導性が低く、それほど大きな熱伝導パスにはならない。また、前述の第 9 及び第 10 の実施例と同様に、本実施例に係る熱光学位相シフトを製造するためには、前述の第 1 の実施例において、レジスト 7 をパターンニングする際のフォトリソグラフィマスクパターンを変更し、光導波路 14 に、他の部分よりも幅が広い部分 14c が形成されるようにすればよい。これにより、犠牲層 2 のエッチング時に、部分 14c の下方において犠牲層 2 が残留し、支柱 2a が形成される。このように、本実施例においては、マスク形状以外に前述の第 1 の実施例における熱光学位相シフトの作製工程を変更することなく、第 1 の実施例と同様に自己形成工程により、熱光学位相シフトを作製することができる。なお、支柱 2a の数は 1 個に限定されず、複数個設けてもよい。

【0087】

次に、本発明の第 12 の実施例について説明する。図 16 (a) は本実施例に係る熱光学位相シフトを示す平面図であり、(b) は (a) に示す A12-A12' 線による断面図であり、(c) は (a) に示す B12-B12' 線による断面図である。図 16 (a) 乃至 (c) に示すように、本実施例は前述の第 10 の実施例と第 11 の実施例とを組み合わせた実施例である。本実施例においては、橋梁部 14a の途中に、梁 16 及び支柱 2a を設けている。本実施例における上記以外の構成及び製造方法は、前述の第 1 の実施例と同様である。

【0088】

熱光学位相シフトを前述の第 9、第 10 及び第 11 の実施例の構造では強度不足となるような環境で使用する場合、本実施例のような構造とすることで、橋梁部 14a の横方向の自由度及び上下方向の自由度の双方を減じ、消費電力の低減を多少犠牲にしつつも、強度を確保することが可能となる。本構造への変更はエッチング用の溝を形成するときに用いるフォトリソグラフィマスクパターンを変更すれば良いだけであり、作製工程の変更無く自己形成工程で実現できる。

【0089】

次に、本発明の第 13 の実施例について説明する。図 17 (a) は本実施例に

係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、(b)は(a)に示すA13-A13'線による断面図であり、(c)は(a)に示すB13-B13'線による断面図である。また、図18(a)乃至(d)は本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法をその工程順に示す断面図であり、図19は本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法における図18(c)に示す工程を示す平面図である。

【0090】

図17(a)乃至(c)に示すように、本実施例に係る熱光学位相シフタにおいては、隙間15の一部に支柱12が形成されている。支柱12は犠牲層2(図1(d)参照)よりもエッチング速度が大きい材料により形成されており、例えば、犠牲層2がPSGにより形成されている場合、支柱12は例えばBPSGにより形成されている。支柱12は橋梁部分14aの長手方向の一部に設けられており、橋梁部分14aを基板1に対して支持し、上下方向の自由度を低減するものである。

【0091】

次に、本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法について説明する。まず、図18(a)に示すように、基板1上に、例えばPSGにより犠牲層2を形成する。そして、フォトリソグラフィ及びRIEにより、犠牲層2の一部を除去し、その部分にBPSG膜を埋め込み、支柱12を形成する。次に、図18(b)に示すように、前述の第1の実施例と同様な方法により、下側クラッド層3及び薄膜4aを形成する。

【0092】

次に、図18(c)及び図19に示すように、薄膜4aをパターニングしてコア4を形成し、上側クラッド層5を形成する。そして、図18(d)に示すように、上側クラッド層5上に薄膜ヒータ6を形成する。

【0093】

次に、図17(a)乃至(c)に示すように、光導波路14を挟む位置に2本の溝8を形成し、光導波路14の下方における犠牲層2をエッチングして除去し、隙間15を形成する。このとき、BPSGからなる支柱12はエッチングされずに残る。本実施例における上記以外の構成及び製造方法は、前述の第1の実施

例と同様である。

【0094】

上述の如く、前述の第11の実施例においては、犠牲層のサイドエッチングを所望の時間で止めることにより支柱を形成したが、本実施例は、最初に犠牲層の一部に犠牲層のエッチングの時にエッチングされない材料で支柱部を作り込んでおくことを特徴とする。これにより、例えば犠牲層のエッチング速度が極めて速く、途中でエッチングを止めることが困難な場合等に、支柱が自己形成されるために、作製工程の信頼性及び再現性を向上させることができる。

【0095】

なお、前述の各実施例においては、光導波路が埋め込み型導波路である場合について説明したが、本発明の熱光学位相シフタにおける光導波路の構造はこれに限定されず、例えばリッジ型の導波路においても、本発明の効果が十分に期待できる。また、薄膜ヒータの形状も1本の直線状の形状に制限されるものではなく、複数の直線を組み合わせた形状又は曲線形状であってもよく、光導波路のコアを所望の温度に上昇させることができ、屈折率変化を誘起できる熱が発生できればよい。

【0096】

【発明の効果】

以上詳述したように、本発明によれば、熱光学位相シフタにおいて、基板上にコアとクラッド層からなる光導波路を形成し、基板と光導波路との間に4 μ m以上の隙間を設けることにより、光導波路の基板に対する断熱性を向上させることができ、光学特性並びに強度、安定性及び信頼性が良好で、消費電力が小さい熱光学位相シフタを得ることができる。また、この熱光学位相シフタは、大規模電子集積回路に一般的に使用されている手法により容易に製造することができる。このため、本発明は、光回路の小型化、高機能化及び大規模化を実現する上で極めて有用な技術である。

【図面の簡単な説明】

【図1】

(a) は本発明の第1の実施例に係る熱光学位相シフタを示す平面図であり、

(b) は A 1 - A 1' 線による断面図である。

【図 2】

(a) 乃至 (d) は本実施例に係る熱光学位相シフトの製造方法をその工程順に示す断面図である。

【図 3】

(a) は本発明の第 2 の実施例に係る熱光学位相シフトを示す平面図であり、
(b) は A 2 - A 2' 線による断面図である。

【図 4】

(a) 乃至 (d) は本発明の第 3 の実施例に係る熱光学位相シフトの製造方法をその工程順に示す断面図である。

【図 5】

(a) は本実施例に係る熱光学位相シフトを示す平面図であり、(b) は A 3 - A 3' 線による断面図である。

【図 6】

(a) は本発明の第 4 の実施例に係る熱光学位相シフトを示す平面図であり、
(b) は A 4 - A 4' 線による断面図である。

【図 7】

(a) は本発明の第 5 の実施例に係る熱光学位相シフトを示す平面図であり、
(b) は A 5 - A 5' 線による断面図である。

【図 8】

(a) 乃至 (d) は本実施例に係る熱光学位相シフトの製造方法をその工程順に示す断面図である。

【図 9】

(a) は本発明の第 6 の実施例に係る熱光学位相シフトを示す平面図であり、
(b) は A 6 - A 6' 線による断面図である。

【図 10】

(a) は本発明の第 7 の実施例に係る熱光学位相シフトを示す平面図であり、
(b) は A 7 - A 7' 線による断面図である。

【図 11】

(a) 乃至 (d) は本実施例に係る熱光学位相シフトの製造方法をその工程順に示す断面図である。

【図 12】

(a) は本発明の第 8 の実施例に係る熱光学位相シフトを示す平面図であり、(b) は A 8 - A 8' 線による断面図である。

【図 13】

(a) は本発明の第 9 の実施例に係る熱光学位相シフトを示す平面図であり、(b) は (a) に示す A 9 - A 9' 線による断面図であり、(c) は (a) に示す B 9 - B 9' 線による断面図である。

【図 14】

(a) は本発明の第 10 の実施例に係る熱光学位相シフトを示す平面図であり、(b) は (a) に示す A 10 - A 10' 線による断面図であり、(c) は (a) に示す B 10 - B 10' 線による断面図である。

【図 15】

(a) は本発明の第 11 の実施例に係る熱光学位相シフトを示す平面図であり、(b) は (a) に示す A 11 - A 11' 線による断面図であり、(c) は (a) に示す B 11 - B 11' 線による断面図である。

【図 16】

(a) は本発明の第 12 の実施例に係る熱光学位相シフトを示す平面図であり、(b) は (a) に示す A 12 - A 12' 線による断面図であり、(c) は (a) に示す B 12 - B 12' 線による断面図である。

【図 17】

(a) は本発明の第 13 の実施例に係る熱光学位相シフトを示す平面図であり、(b) は (a) に示す A 13 - A 13' 線による断面図であり、(c) は (a) に示す B 13 - B 13' 線による断面図である。

【図 18】

(a) 乃至 (d) は本実施例に係る熱光学位相シフトの製造方法をその工程順に示す断面図である。

【図 19】

本実施例に係る熱光学位相シフタの製造方法における図18(c)に示す工程を示す平面図である。

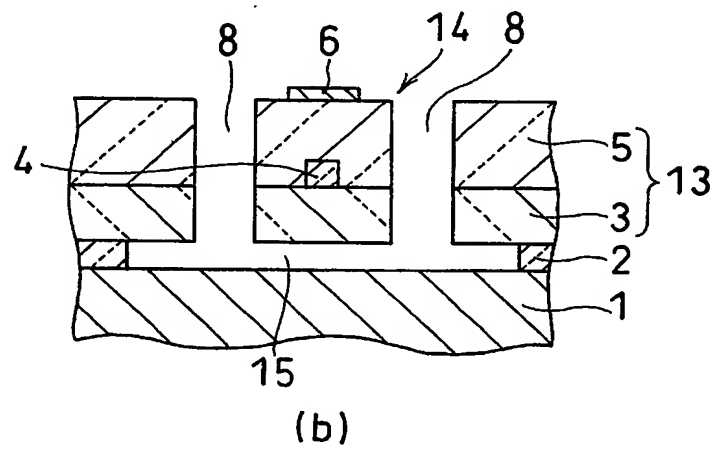
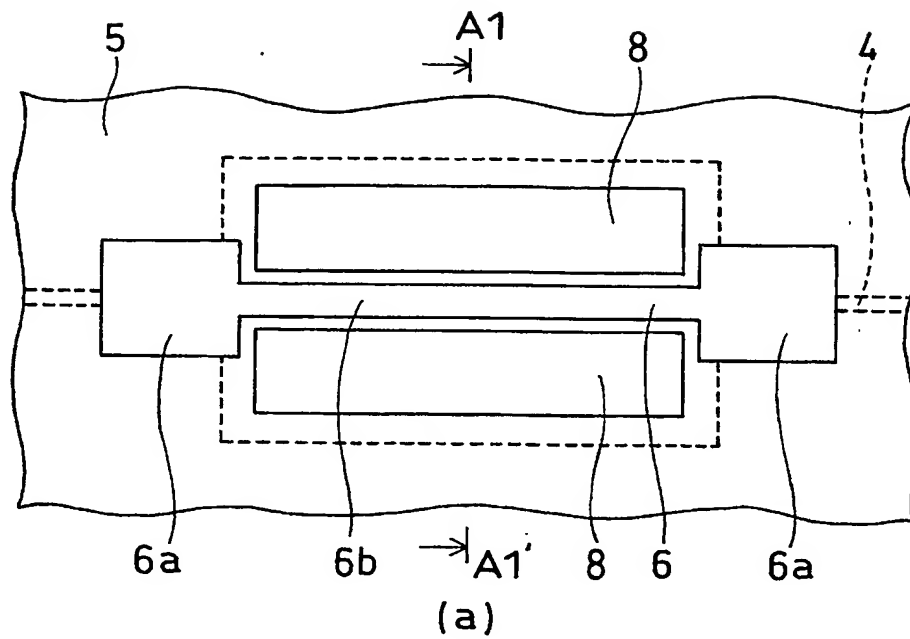
【符号の説明】

- 1 ; 基板
- 2 ; 犠牲層
- 2 a ; 支柱
- 3 ; 下側クラッド層
- 4 ; コア
- 4 a ; 薄膜
- 5 ; 上側クラッド層
- 6 ; 薄膜ヒータ
- 6 a ; 電極部分
- 6 b ; ヒータ部分
- 7 ; レジスト
- 7 a ; 開口部
- 8 ; 溝
- 8 a ; 側面
- 8 b ; 端部
- 9 ; 第1の下側クラッド層
- 10 ; 第2の下側クラッド層
- 11 ; ビア
- 12 ; 支柱
- 13 ; クラッド層
- 14 ; 光導波路
- 14 a ; 橋梁状の部分
- 14 b ; 根元部
- 14 c ; 部分
- 15 ; 隙間
- 16 ; 梁

【書類名】

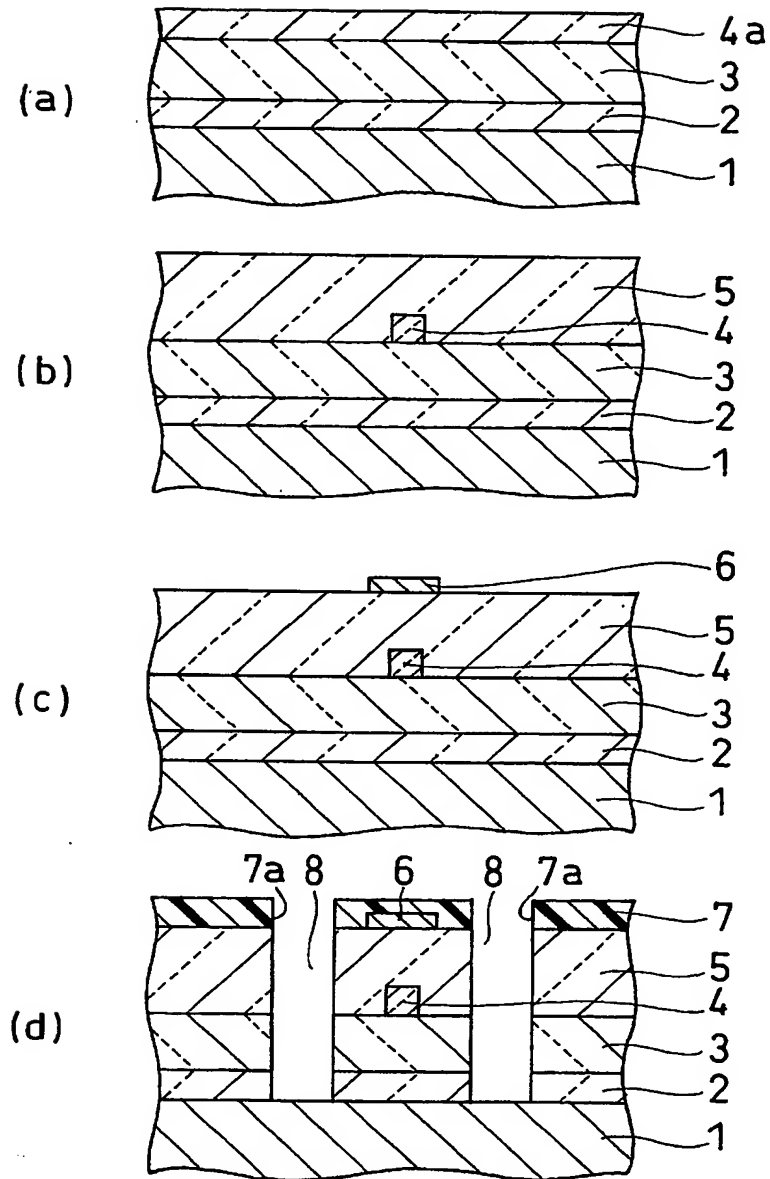
図面

【図1】



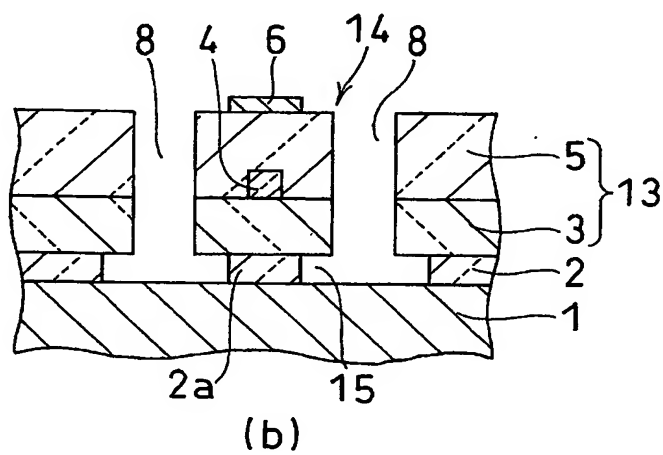
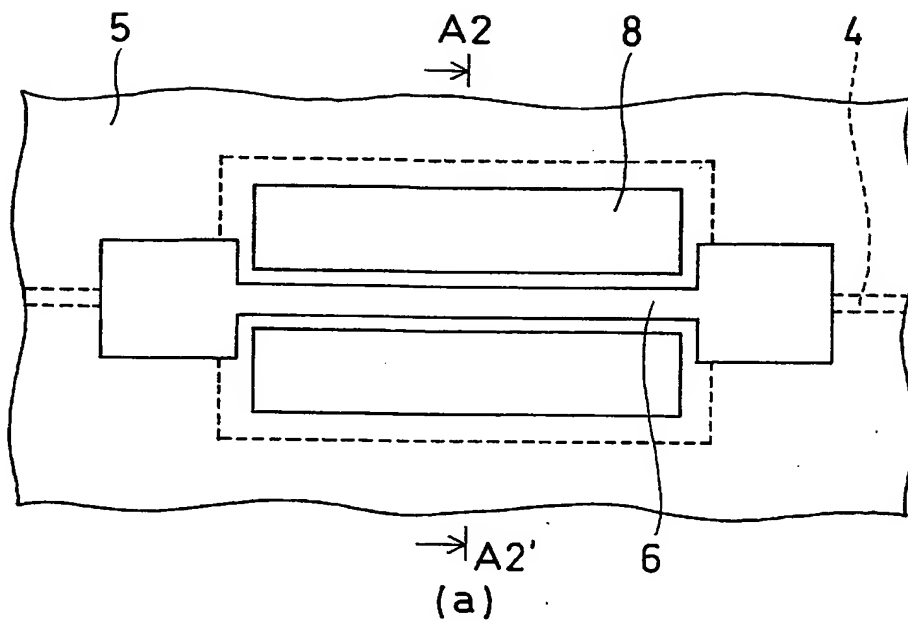
- 1: 基板 2: 犠牲層 3: 下側クラッド層 4: コア
 5: 上側クラッド層 6: 薄膜ヒータ 6a: 電極部分
 6b: ヒータ部分 8: 溝 13: クラッド層
 14: 光導波路 15: 隙間

【図 2】



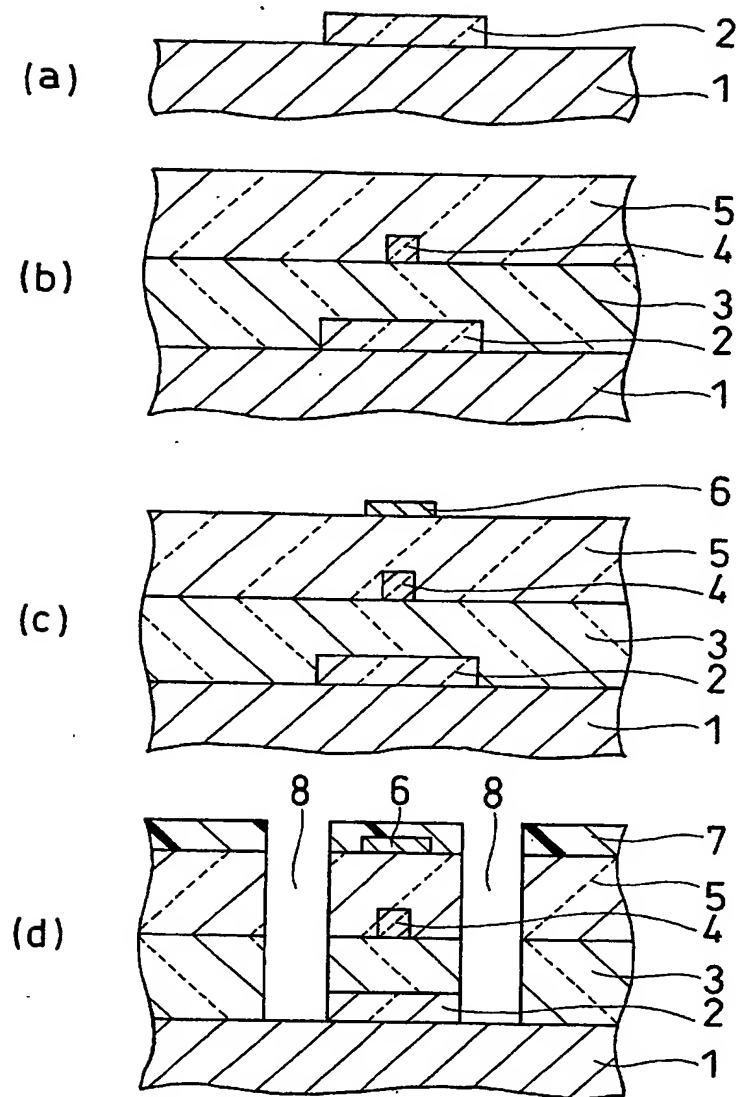
4a: 薄膜 7: レジスト 7a: 開口部

【図 3】

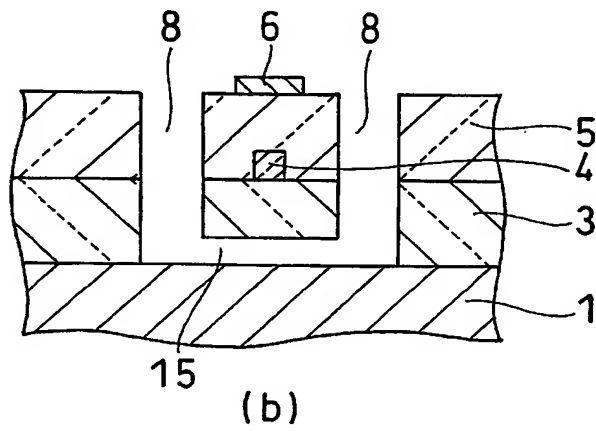
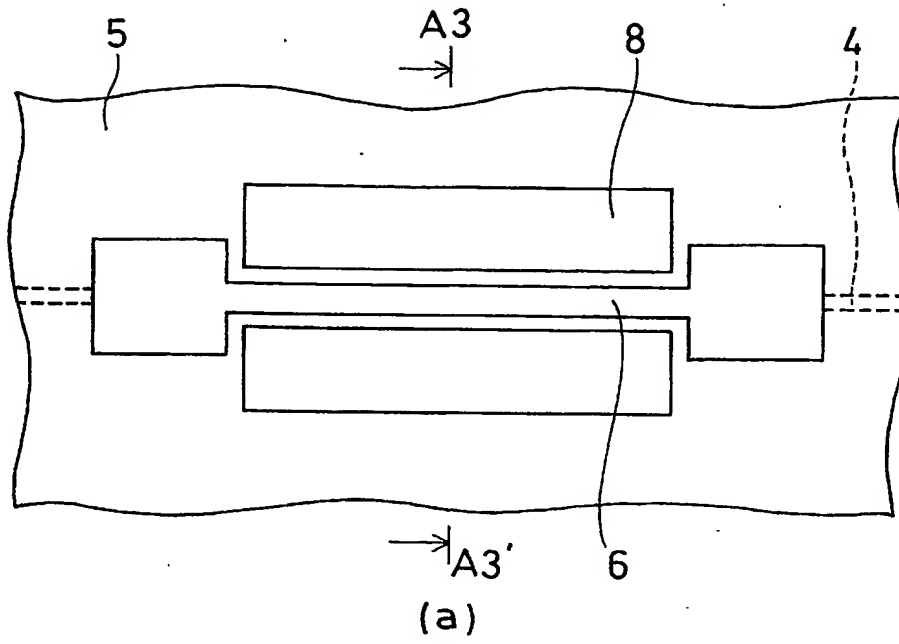


2a; 支柱

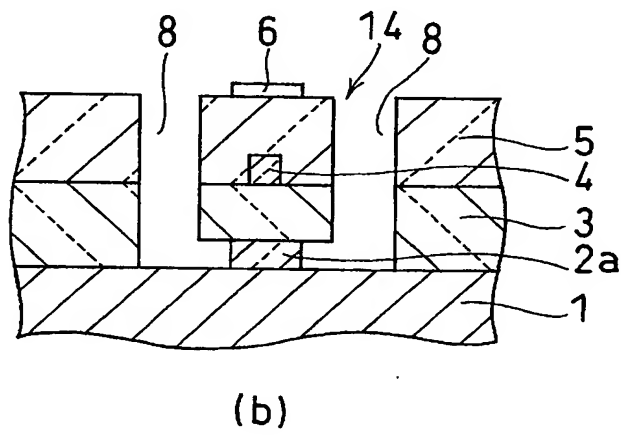
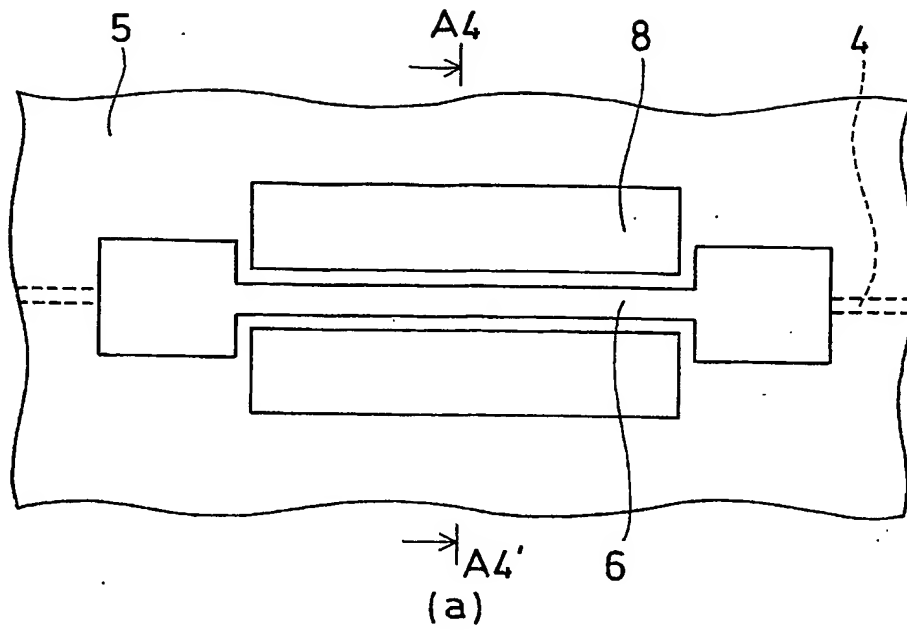
【図 4】



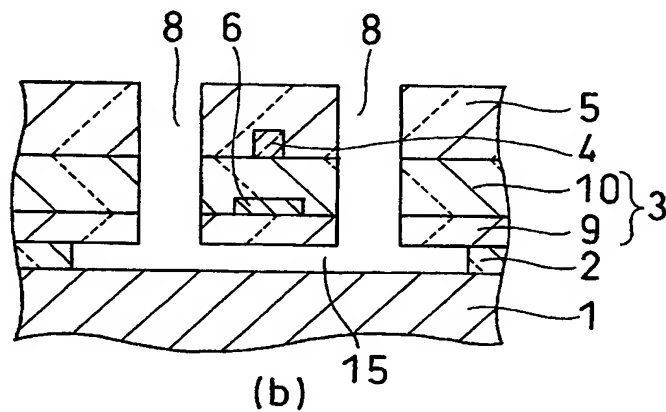
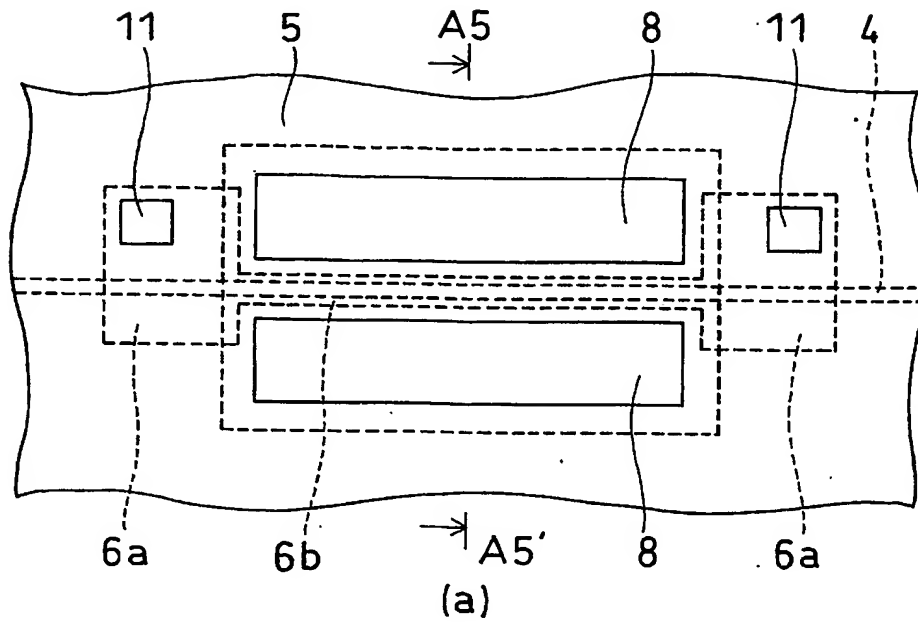
【図 5】



【図 6】

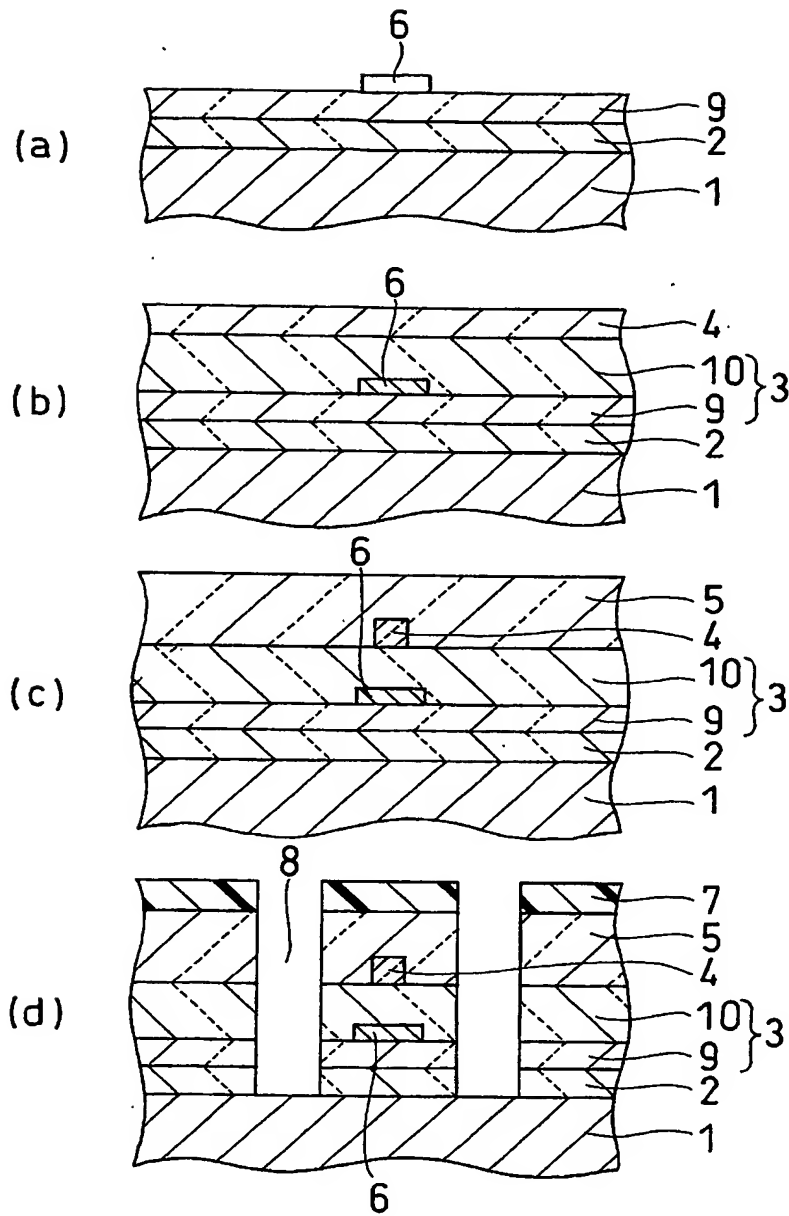


【図 7】

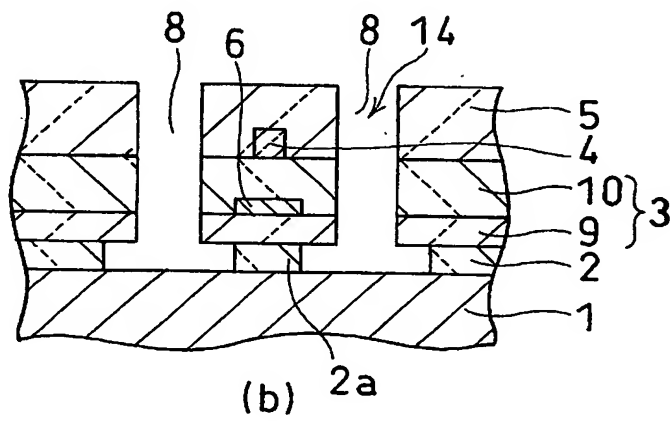
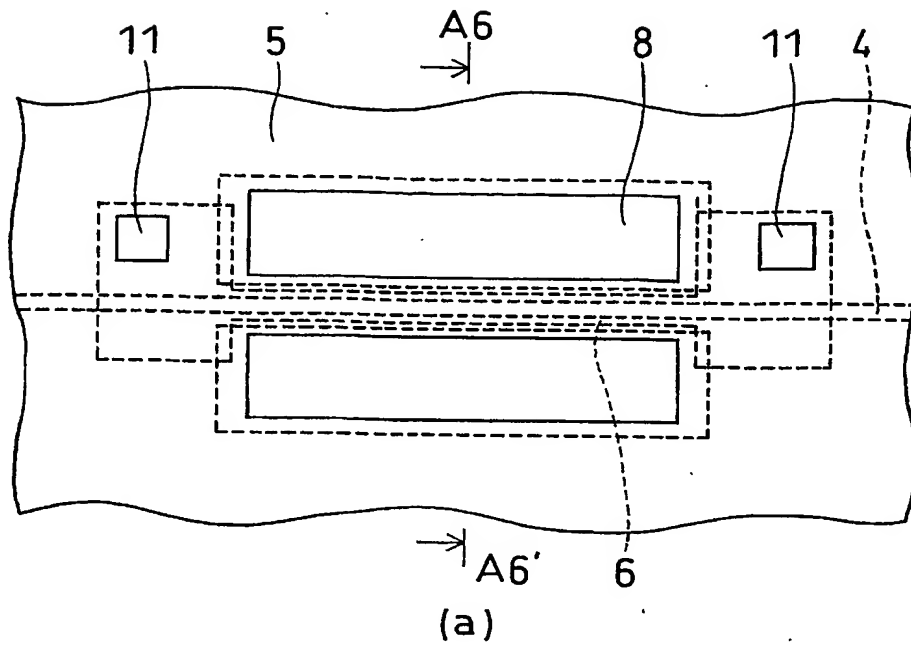


9 ; 第1の下側クラッド層 10 ; 第2の下側クラッド層 11 ; ビア

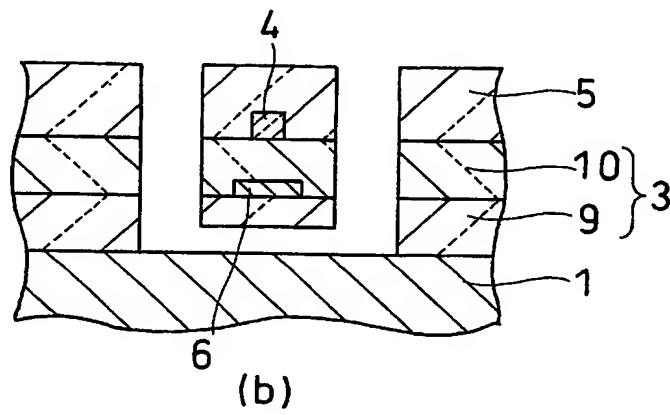
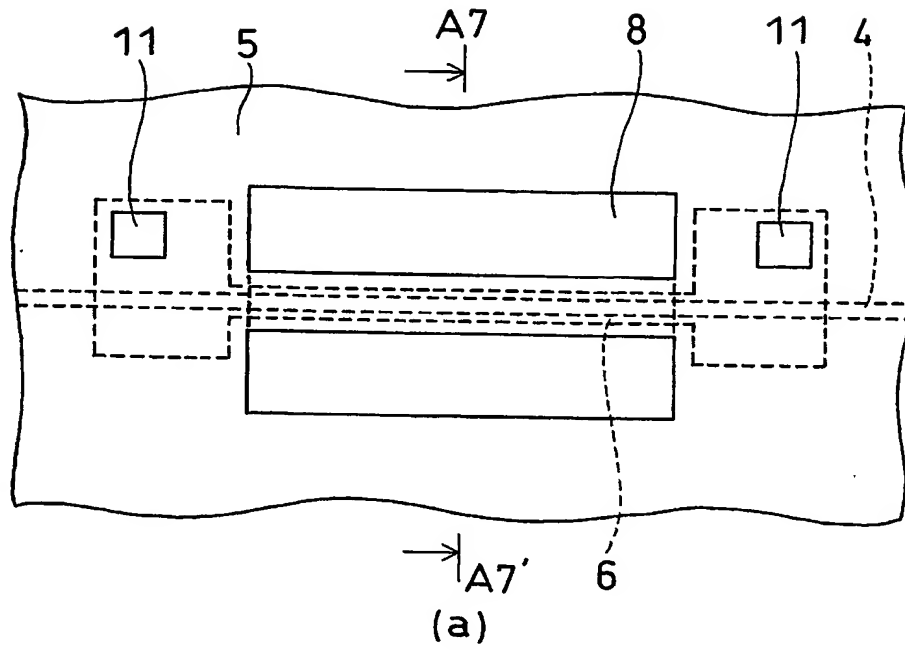
【図 8】



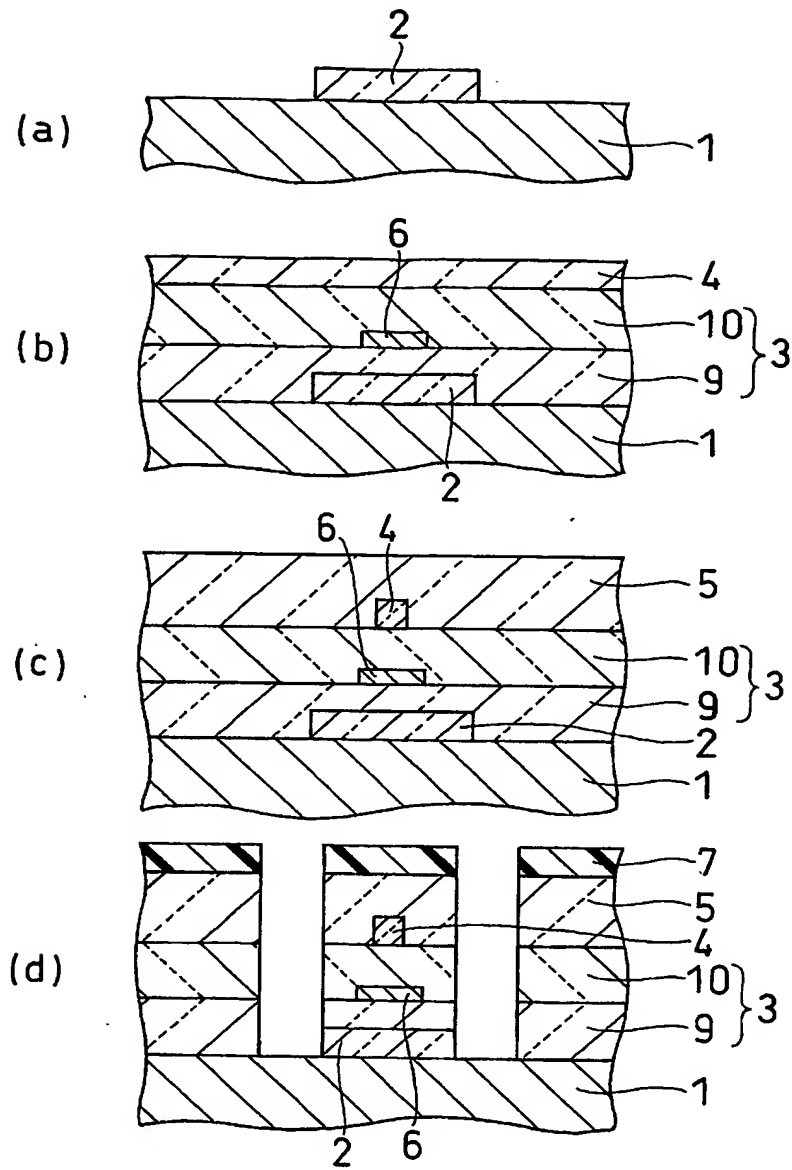
【図9】



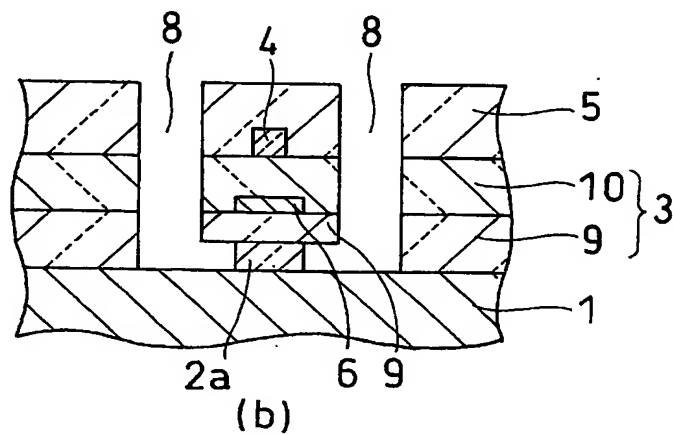
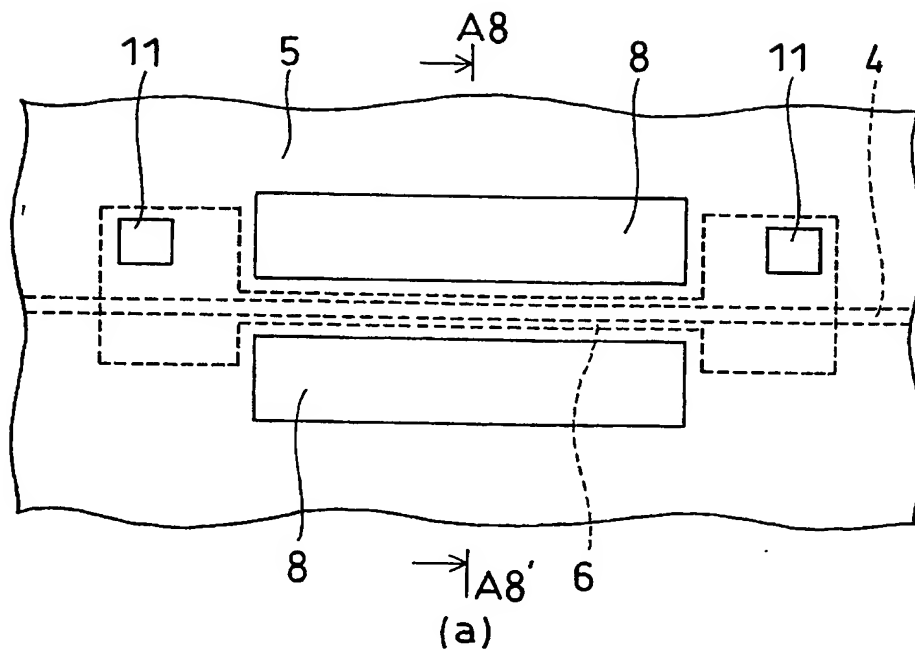
【図10】



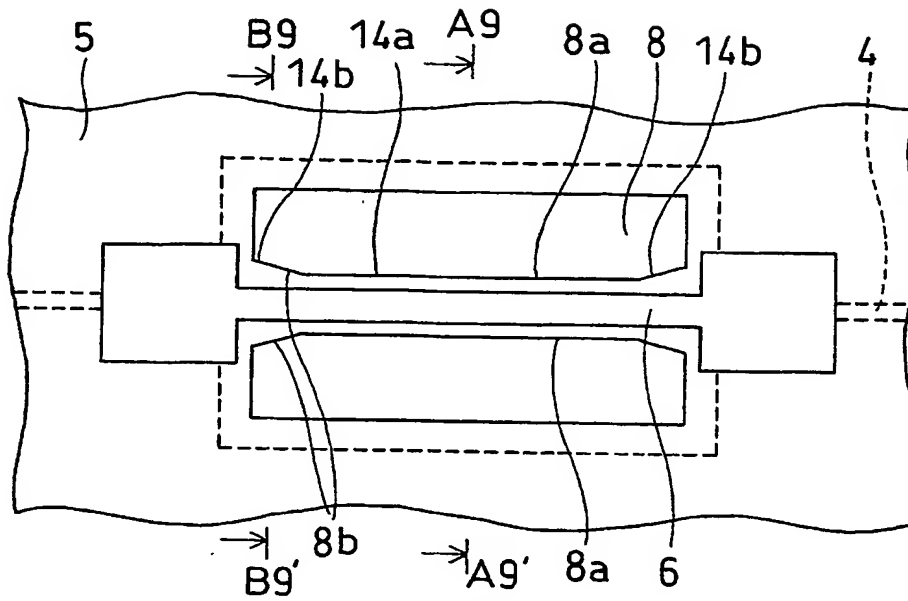
【図 11】



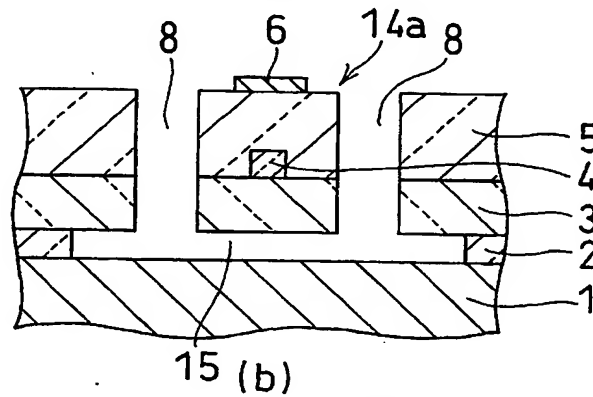
【図 12】



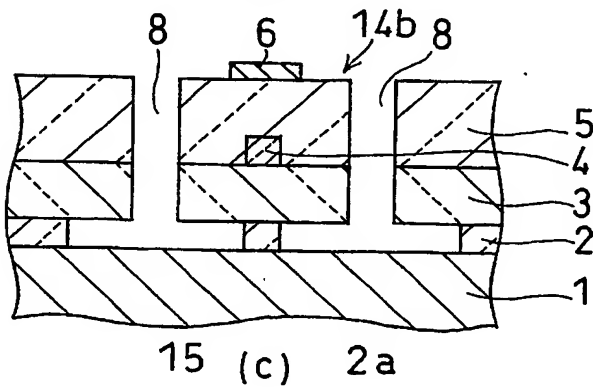
【図13】



(a)



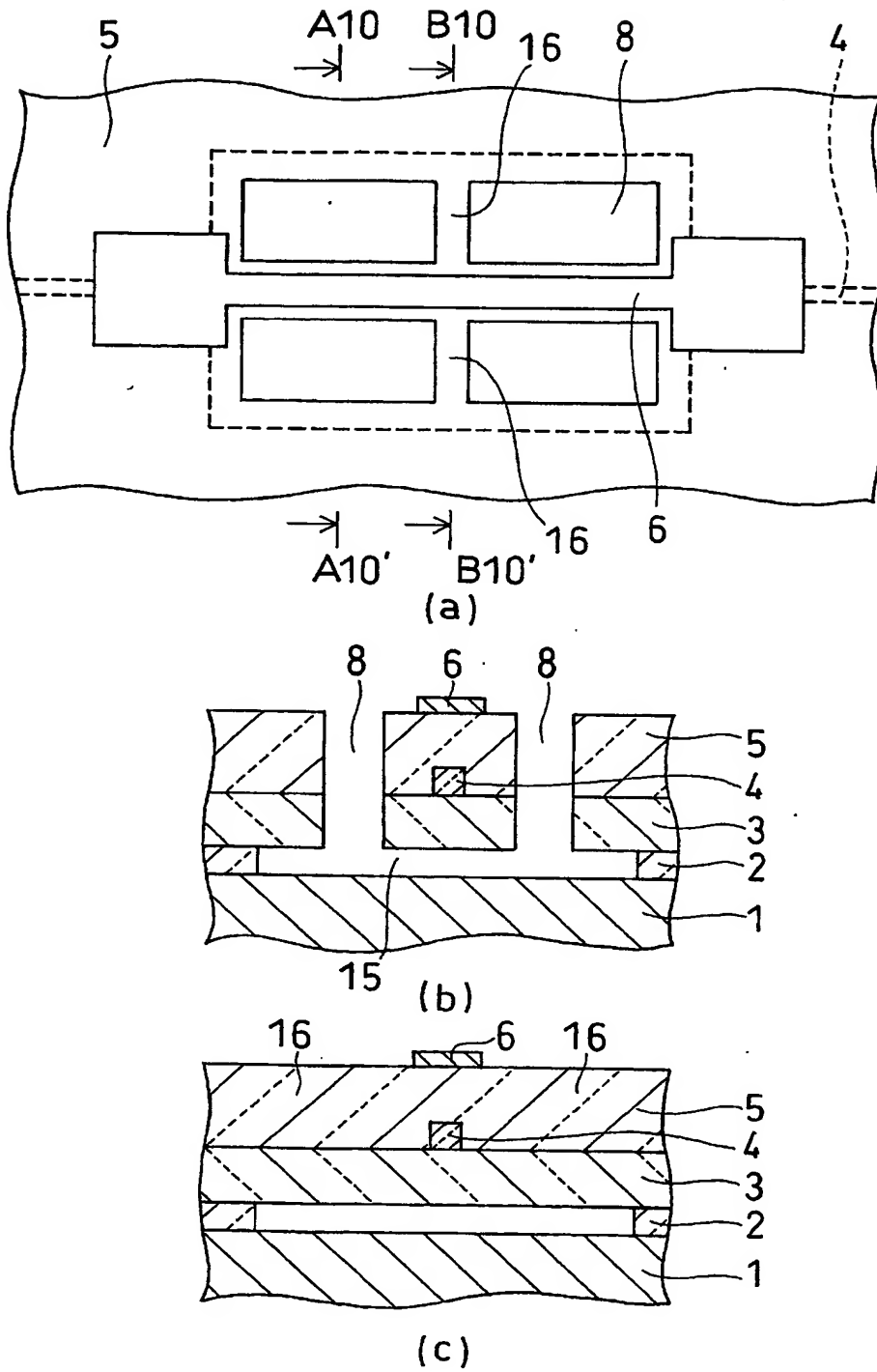
15 (b)



15 (c) 2a

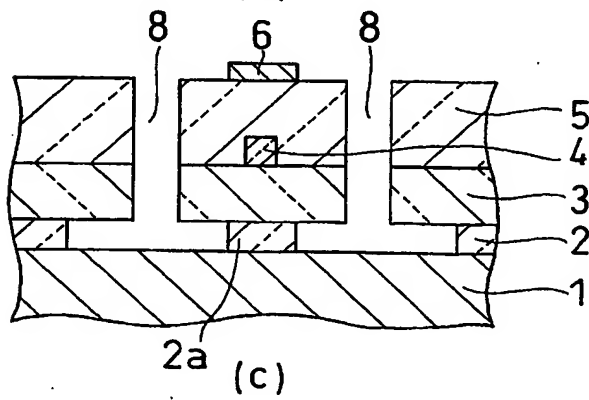
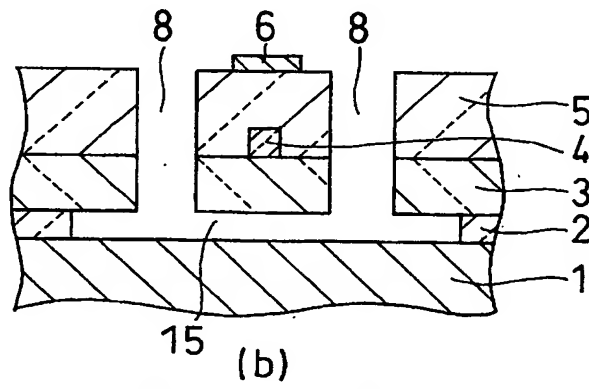
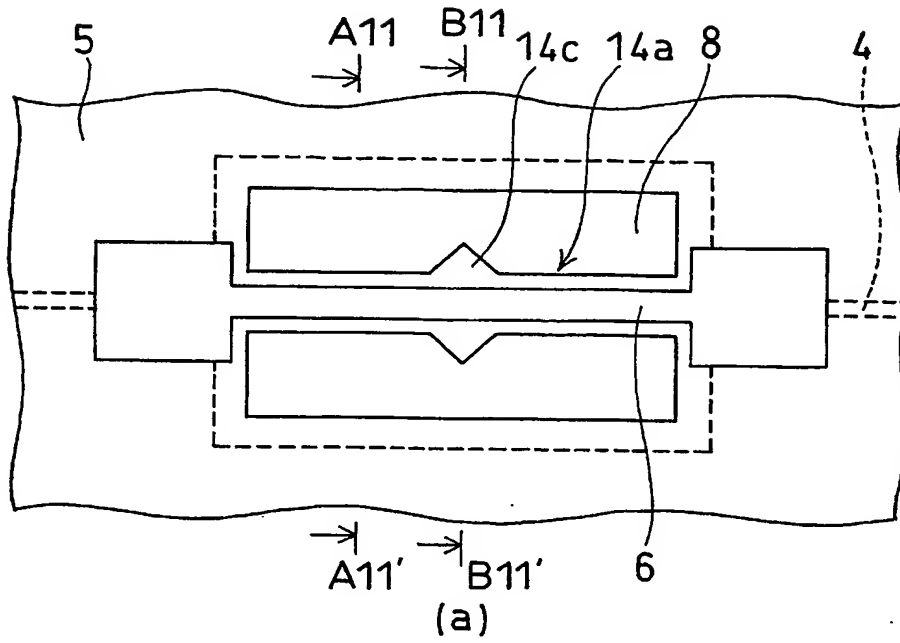
8a; 側面 8b; 端部 14a; 橋梁部分 14b; 根元部

【図 14】



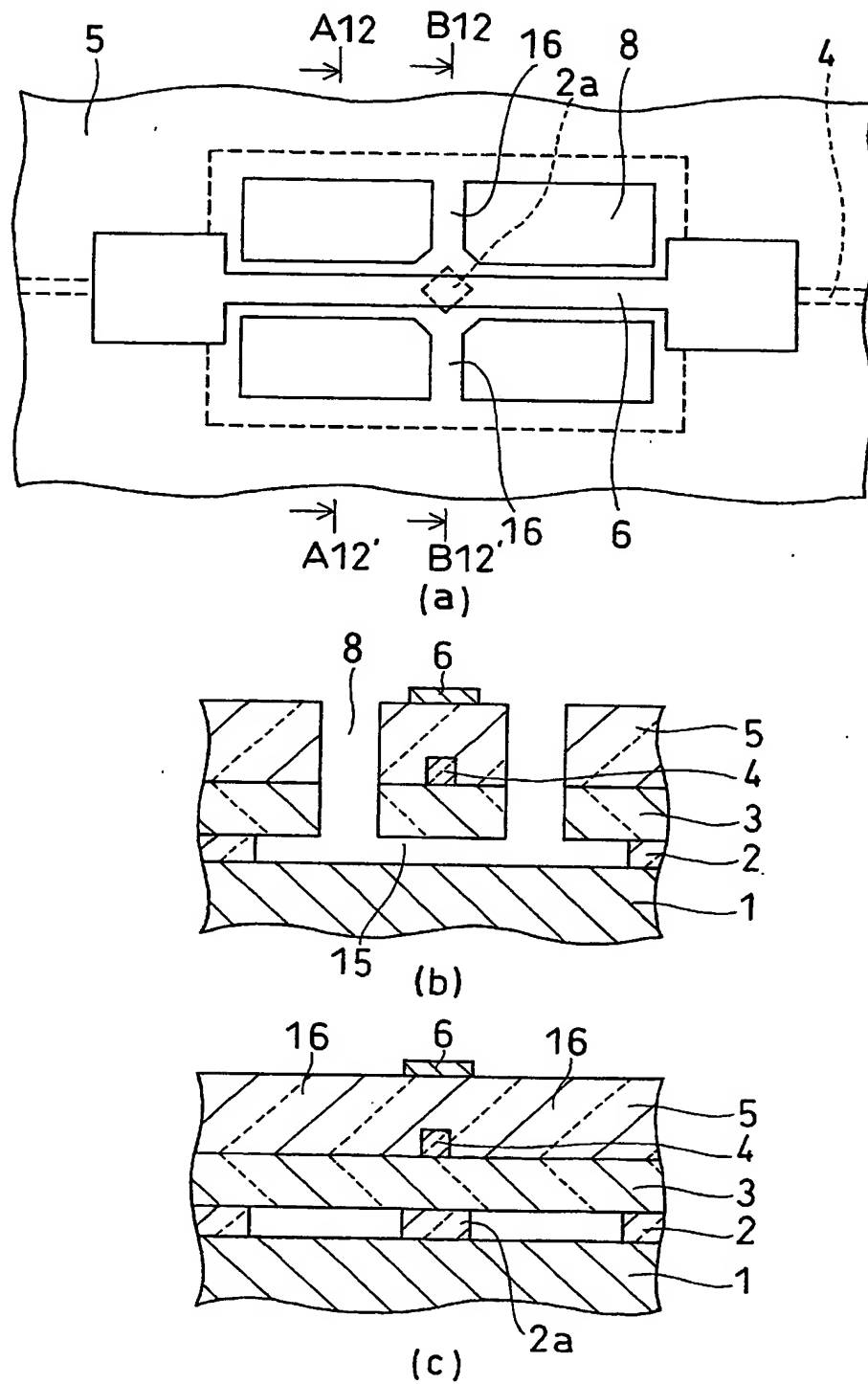
16 ; 梁

【図 15】

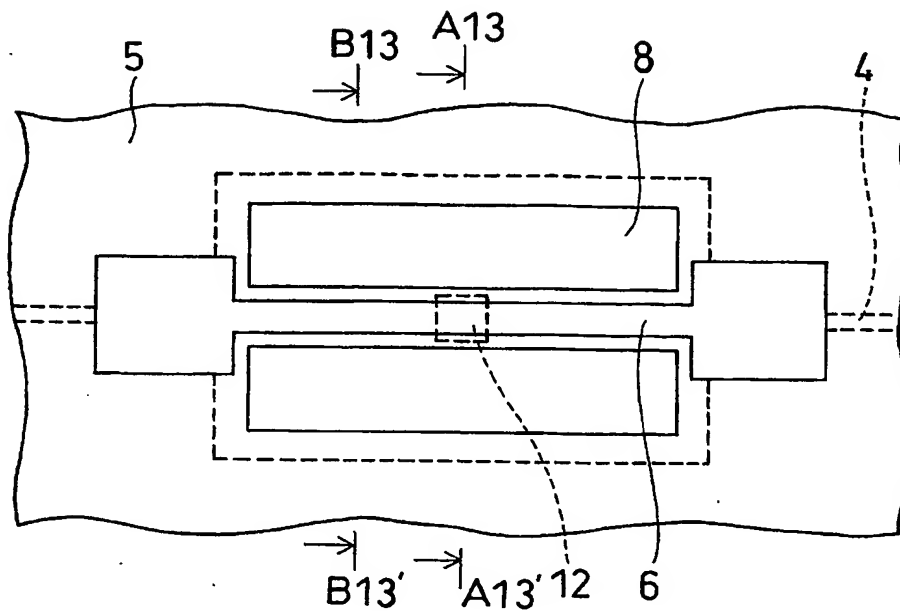


14c ; 部分

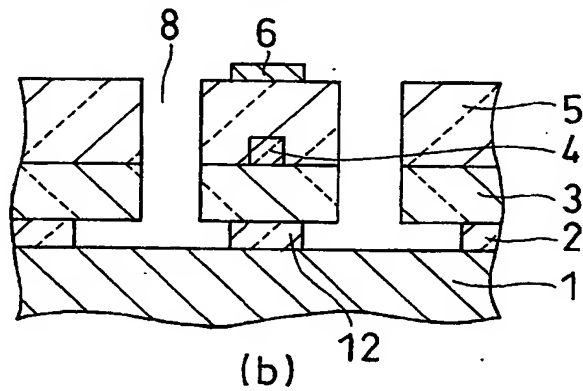
【図16】



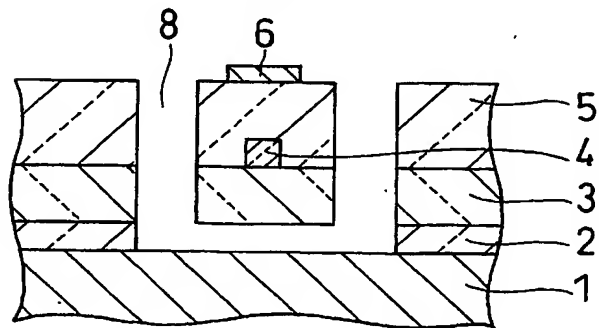
【図 17】



(a)

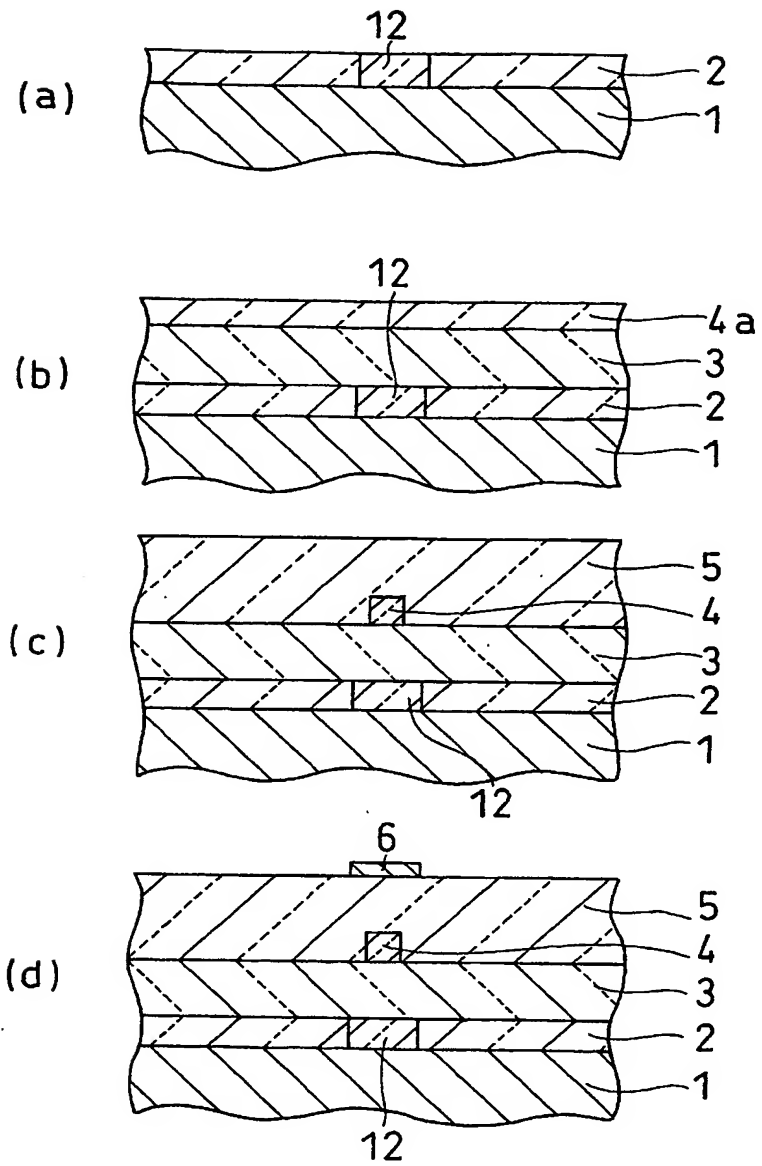


(b)



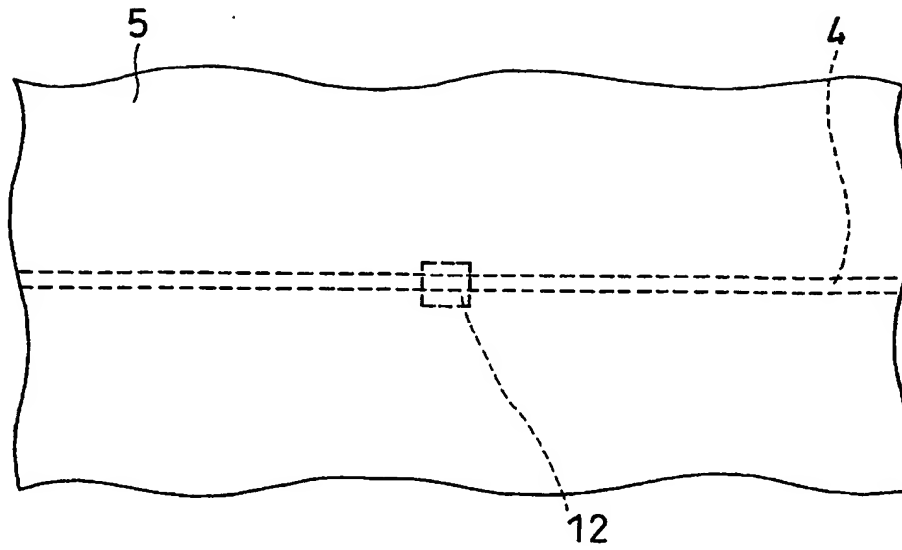
(c)

【図 18】



12 ; 支柱

【図19】



【書類名】

要約書

【要約】

【課題】 作製が容易で、光学特性並びに強度、安定性及び信頼性が良好で、消費電力が小さい熱光学位相シフタ及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 基板 1 上に犠牲層 2 を設け、犠牲層 2 上にクラッド層 13 を設ける。クラッド層 13 は下側クラッド層 3 と上側クラッド層 5 とから構成し、下側クラッド層 3 上には基板 1 の表面に平行な方向に延びるコア 4 を設け、上側クラッド層 5 はコア 4 を覆うように設ける。コア 4 及びコア 4 の周囲のクラッド層 13 により、光導波路 14 が形成される。また、光導波路 14 の長手方向の一部において、光導波路 14 を挟むように溝 8 を形成する。更に、光導波路 14 と基板 1 との間において、犠牲層 2 をエッチングにより選択的に除去し、 $4\mu\text{m}$ 以上の隙間 15 を形成する。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2002-190531
受付番号	50200954142
書類名	特許願
担当官	第二担当上席 0091
作成日	平成14年 7月 1日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成14年 6月28日

次頁無

特願 2002-190531

出願人履歴情報

識別番号

[000004237]

1. 変更年月日

1990年 8月29日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都港区芝五丁目7番1号

氏 名

日本電気株式会社